



平野嘉仁\*

# 高周波・光デバイスの現状と展望

Status and Outlook of High Frequency & Optical Devices

Yoshihito Hirano

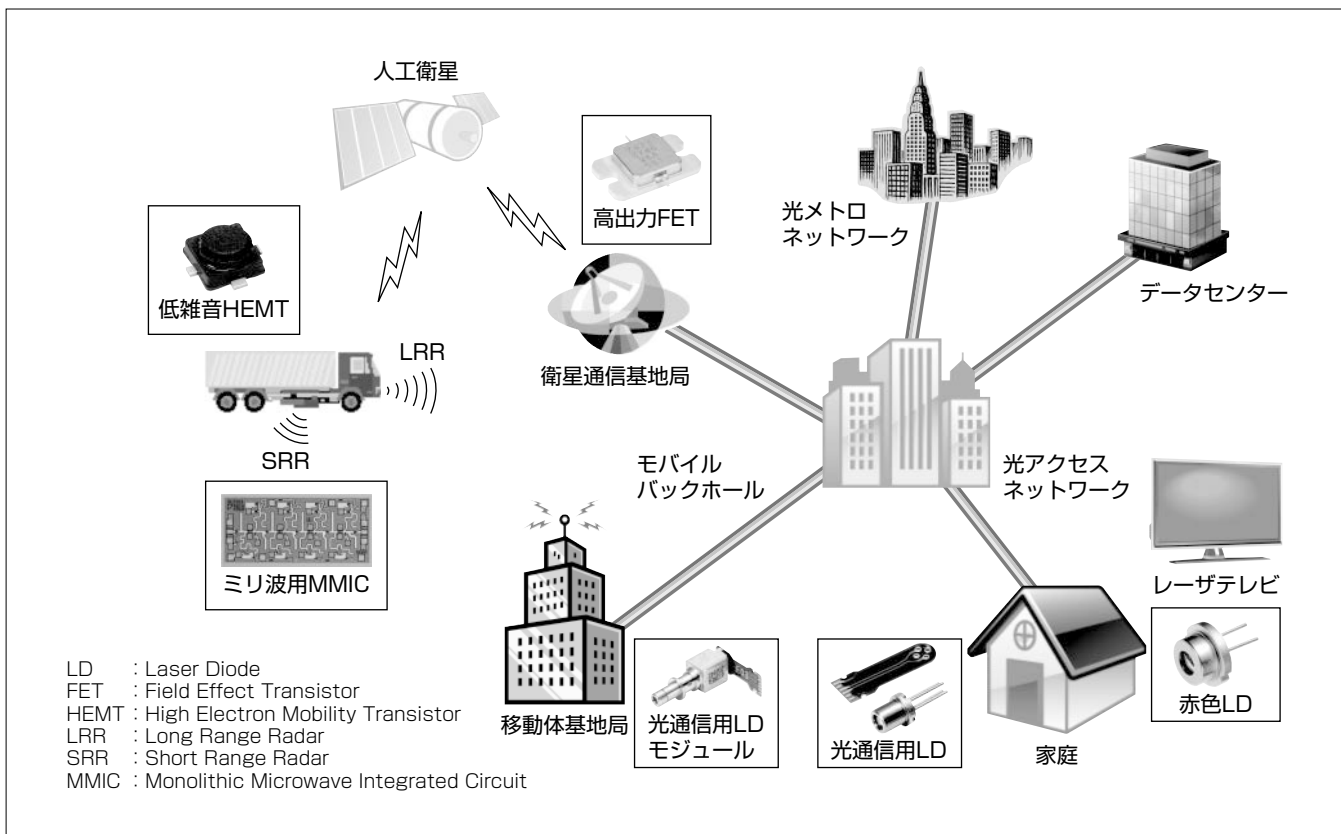
## 要旨

近年、マイクロ波を用いた無線通信システムは、現代社会に不可欠なものとなっており、その適用分野は携帯電話、衛星通信、無線LAN(Local Area Network)など多岐にわたっている。1990年代以降、メールやインターネットなどのデータサービスの急増によって無線ネットワークの負荷が爆発的に増大し、これを支える低消費電力でコンパクトな高周波デバイスが強く求められている。特に高出力領域では移動体基地局や衛星通信基地局を中心に高電源電圧動作が可能なGaN(窒化ガリウム)デバイスの導入が進みつつある。一方、インターネットでの動画配信の増加によって光アクセスネットワークの普及が世界的に進み、更なる通信容量増大の要求に応えるため、最高速度10Gbpsを実現する次世代技術が確立されつつある。さらに通信ネットワーク全体を支えるメトロネットワーク、コアネットワークや

モバイルバックホールでも、現状の10Gbps/40Gbpsを超えた100Gbps時代が急速に幕を開けつつあり、それに対応した光デバイスの開発が加速されている。

また、自動車の安全・快適志向の高まりによって、通信及びセンシングに用いられる車載用高周波デバイスが注目されている。現状の通信装置は、GPS(Global Positioning System)や衛星ラジオと限定的であるが、今後は自動運転に向け車車間(Vehicle to Vehicle: V2V)・路車間(Vehicle to Infrastructure: V2I)通信の整備が期待されている。センシング装置としては対象物との距離・相対速度を測る77GHz帯(ミリ波)/24GHz帯(準ミリ波)のドップラーレーダ装置が急速に普及している。

さらに家庭電器製品分野では、演色性に優れた映像用高出力赤色半導体レーザーの商用化が進んでいる。



## 三菱電機の高周波・光デバイスが支える社会

当社の高周波・光デバイスは、高速大容量通信システムに限らず各種通信装置、車載用通信及びセンシング装置や家庭電器製品など広い分野に適用され、社会を支えている。

## 1. ま え が き

近年のスマートフォンやタブレットの急速な普及は、通信トラフィックの爆発的な増大を引き起こしている。また、インターネット経由の高画質な動画配信需要の高まりによって、それに応えるための光アクセスネットワークが世界的規模で普及しつつある。このようなデジタル通信網を構成する高速情報機器の基幹部品である高周波・光デバイスは、その重要度が一層増加し、更なる進化が期待されている。

本稿では、化合物半導体をベースとした高周波・光デバイスの市場・技術動向と将来展望について述べる。また、将来の伸張が期待される通信分野以外への展開についても併せて述べる。

## 2. 高周波デバイス

### 2.1 高出力用GaNデバイス

#### 2.1.1 市場動向

無線通信は、19世紀のマルコーニの無線電信機の時代から発展を続け、ラジオやテレビ、固定無線局による通信、衛星通信、トランシーバを経て、1980年代には各個人が持ち歩ける携帯電話の第1世代(1G)が始まった。その後デジタル技術の導入によって、通信速度がより速いPDC(Personal Digital Cellular)やCdmaOne(Code division multiple access One)といった第2世代、世界標準となる通信方式であるW-CDMA(Wideband Code Division Multiple Access)、CDMA2000<sup>(注1)</sup>やHSDPA/HSUPA(High-Speed Downlink/Uplink Packet Access)といった第三世代に進み、現在は更に高速な第四世代のLTE(Long Term Evolution)、LTE-A(Advanced)へ向かいつつある。この30年間に通信速度は、初期の9.6kbpsから約100,000倍の1Gbpsに増えている(図1)。通信速度の増大に伴い、音声だけの通信からメール、データ、画像やブラウジング、動画まで扱える情報が飛躍的に拡大している。来る第五世代ではミリ波帯も含めた広帯域通信による超高速通信が議論されている。

近年のスマートフォン、タブレットの急速な普及に見られるように、モバイル通信でいつでもどこでもネットワー

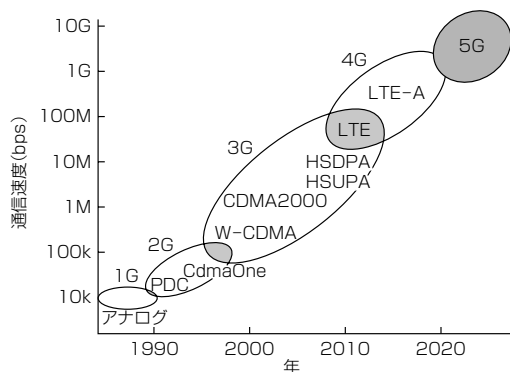


図1. モバイル通信速度の変遷<sup>(1)</sup>

クにつながり、情報にアクセスし、誰とでも連絡できる生活があたり前となりつつある。また、従来の携帯電話網による通信に加えて、機械間の通信(Machine to Machine: M2M)、無線LAN、衛星通信といった多様な無線通信による情報ネットワークが利用されており、今後、無線通信による通信トラフィックは更に増大していく。

こういった無線通信を支えるデバイスとして、Si(シリコン)や化合物半導体が用いられており、周波数や出力電力によって最適なデバイスが使われている(図2)。出力電力が小さな用途にはCMOSやSiGe(シリコンゲルマニウム)が多用されるが、1W以上の出力ではGaAs(ガリウムヒ素)デバイスが用いられる。数十~数百Wの電力では、周波数の低い領域はLDMOS(Laterally Diffused Metal Oxide Semiconductor)、高周波ではGaNが使われ、パワーデバイス等の低周波・高出力用途にはSiC(シリコンカーバイド)が用いられる。M2Mのような低周波・低出力ではCMOSやSiGe、無線LANでは周波数が高くなるためGaAsも使用される。周波数が5GHz帯以上となるVSAT(Very Small Aperture Terminal)等の衛星通信では、従来のGaAsに換えてGaNが使われつつある。周波数0.7~3.5GHzが主流となる携帯電話ではLDMOSが主流であったが、近年はより高効率で小型化・広帯域化が可能となるGaNデバイスが使われ始めている。

(注1) CDMA2000は、米国電気通信工業会(TELECOMMUNICATIONS INDUSTRY ASSOCIATION USA)の登録商標である。

#### 2.1.2 技術動向

携帯電話の基地局や衛星通信基地局では、グリーン化の要請から消費電力の低減が大きな課題となっており、電力を多用する送信用増幅器の高効率化が強く要請されている。また、通信トラフィックの増加に伴い通信帯域が増えつつあり、各帯域の機器を収容する必要性から機器の小型化が進み、増幅器の高効率化によって排熱量を低減することが必須となっている。

高周波・高出力デバイスとしてはLDMOS、GaAs、GaNがあるが、バンドギャップエネルギーが最も高く、限界破壊電界を大きくできるGaNは、高い動作電圧を実現でき、高出力かつ高効率化を可能とする。当社は2005年からGaN

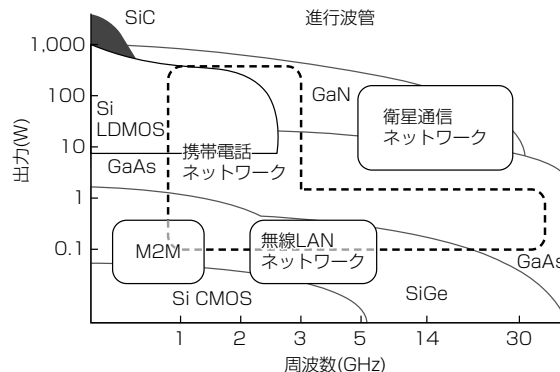


図2. 通信周波数・出力とデバイスの関係

デバイスの製品化を進めており、衛星通信やレーダ、携帯電話用基地局の増幅器に適用し、高効率かつ小型な増幅器の実現に貢献している。

当社Ga<sub>N</sub>トランジスタは、ソース・ドレイン電極の直下にオーミックイオン注入構造を採用することによって、寄生抵抗を低減し、トランジスタを高効率化するとともに、絶縁膜形成にCat-CVD(Catalytic Chemical Vapor Deposition: 触媒化学気相成長)を用いることによって、半導体中の電子トラップを低減して効率を更に改善している。携帯電話基地局用のLDMOSと効率を比較するとGa<sub>N</sub>デバイスは素子効率が高く、増幅器の高効率化に有効である。2GHz帯以下では安価なSi基板上にGa<sub>N</sub>トランジスタを形成した“Ga<sub>N</sub> on Si”デバイスであっても、一般的な“Ga<sub>N</sub> on SiC”デバイスと同等な効率が得られており、今後はコストも含めて市場の要請に応じていくことが可能となりつつある。また、増幅器の高効率化ではトランジスタの効率改善に加えて、回路をエンベロープトラッキング方式とする方策がある。Ga<sub>N</sub>デバイスは、エンベロープを増幅する部分にも、高効率なスイッチング増幅器として適用でき、基地局のグリーン化に大きく貢献できる。

周波数の高い分野では、衛星通信用増幅器にGa<sub>N</sub>デバイスが使われており、当社はC帯、Ku帯で100W、80Wの出力まで内部整合型FETでカバーしている。さらに、これら高効率・高出力な内部整合型Ga<sub>N</sub>デバイスに組み合わせ、容易に小型軽量の送信機を実現するための、Ga<sub>N</sub> MMICも用意している。このMMICを用いることでドライブ段も含めて増幅器全体をGa<sub>N</sub>で構成でき、電源の統一化ができるなど、小型軽量の送信機を容易に実現できる。さらに、このMMICには、通信機器で要求される低歪(ひずみ)化のための歪補償回路が集積されており、Ga<sub>N</sub>を初めて導入するユーザーにも使いやすいソリューションを提供している。

今後は高出力、高効率、高信頼なGa<sub>N</sub>の特性を生かした分野に向けて改良を続けるとともに、コスト面でもプラスチックパッケージの導入や、“Ga<sub>N</sub> on Si”の適用によって、より使いやすいデバイスに仕上げていく。

## 2.2 車載用高周波デバイス

### 2.2.1 市場動向

自動車に用いられる高周波デバイスとして、大きく分けて通信装置とセンシング装置がある。携帯電話が広く普及したため、高周波の車載用通信装置としては、GPS信号受信装置(1.6GHz帯)や北米でサービス中の衛星デジタルラジオ受信装置(2.4GHz帯)と限定的である。今後は自動運転に向け車間(V2V)・路車間(V2I)通信(760MHz帯、5.9GHz帯)の整備が期待されている。高周波のセンシング装置としては対象物との距離・相対速度を測る77GHz帯(ミリ波)/24GHz帯(準ミリ波)のドップラーレーダ装置の普及が急速に進んでいる。欧州では24GHz帯から79GHz帯

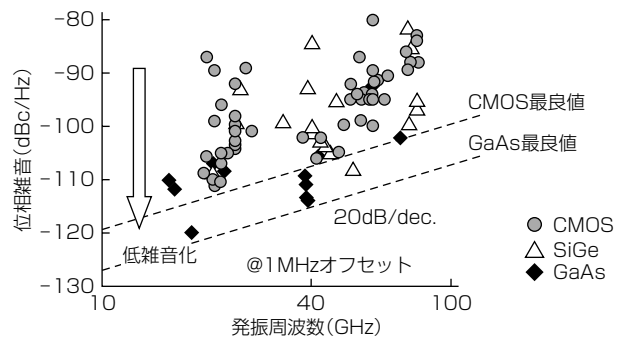


図3. 位相雑音の比較(当社調べ)

へ移行する動きが活発であるが、全世界的な普及にはまだ時間を要する。ミリ波レーダの製品化は2003年に始まり、現在は前方の衝突回避システムなどに用いられているが、今後、NCAP/Euro-NCAP(北米/欧州の保険優遇措置)の改定によって、歩行者検知(2016年)・夜間歩行者検知(2018年)へと高機能化されていく見込みである。高周波デバイスとしては高機能化に伴う広帯域化・低雑音化と普及に伴う低価格化との2極化が進むと考えられる。

### 2.2.2 技術動向

衛星デジタルラジオ受信装置はアンテナとチューナー間の距離が長く、低雑音化のためアンテナ端にGaAsディスクリートHEMTが多く用いられている。HEMTは衛星放送受信で広く普及しており非常に安価であること、アンテナの大きさ以上の小型化(集積化)が不要であることなどがGaAsディスクリートHEMTが継続使用されている主な理由である。5.9GHz帯のV2V通信用デバイスは、WiFi用デバイスが流用できるためSiGe ICが主流であるが、2015年から始まるシステム検証実験の結果によっては要求仕様が厳しくなり、GaAsデバイスでの対応が必要となる可能性もある。ミリ波レーダ用デバイスは当初はGaAs MMICが主流であったが、現在はSiGe ICでもある程度の性能が確保できるようになってきた。GaAs MMICは高コストが最大のデメリットであるが、低雑音性の点で最も優れているため(図3)、高級モデルには引き続きGaAsデバイスが採用される見込みである。

## 3. 光通信用デバイス

### 3.1 光通信用デバイス

#### 3.1.1 市場動向

光通信では、図4に示すように、主に一般消費者などのエンドユーザーに光ファイバがつながるFTTH(Fiber To The Home)に代表される光アクセスネットワーク、都市内及び都市の局舎間をいくつものリング状につなげる距離数十~数百kmのメトロネットワーク、さらにハブとなる大都市間や大陸間の数百~8,000kmにも及ぶ長距離を結ぶコアネットワーク、に大別できる。最近伸張著しい携帯電話ネットワークも個々の携帯電話信号を授受する基地局同士は光ファイバで結ばれる有線光通信ネットワークであり、次にそれらも含めた

有線光通信ネットワークの市場動向について概観する。

NetflixやYouTube<sup>(注2)</sup>などインターネットにおける動画配信によって光通信が世界的に大きく伸張している。一般家庭にまで光ファイバを接続するFTTH、拡大するデータセンター内光ネットワーク、さらにそれらを広域でつなぐメトロネットワーク、コアネットワークがそれぞれ伸張している。FTTHにはIEEE(アイ・トリプル・イー)及びITU-T(国際電気通信連合電気通信標準化部門)という2つの規格化団体で規格化されたGE-PON(Gigabit Ethernet<sup>(注3)</sup> Passive Optical Network:下り最高速度1Gbps)及びG-PON(Gigabit Passive Optical Network:下り最高速度2.5Gbps)という事実上現行のFTTHを二分する規格がある。さらに両規格とも最高速度10Gbpsを実現する10G-EPON及びXG-PONが準備され、2015年には一部先進地域での導入開始が見込まれている。2014年度末で推定13億回線にまで普及してきた世界のFTTH加入者分布を図5に示す。一方、データセンターの中でも特に大規模なスーパーデータセンターと呼ばれるような先進のデータセンターでは10Gbps信号を4つ束ねた40Gbpsシステムが既に使われ、さらに25Gbps信号を束ねた100Gbpsシステムも導入が始まろうとしている。これに加えてスマートフォンやタブレット端末の世界的な普及によって、これらのデータを束ねるメトロネットワーク及びコアネットワークは現在主流の10Gbpsや40Gbpsから100Gbps時代へ急速に変わりつつある。光信号のOn-Offを用いた従来の直接変調方式では100Gbpsの実現が難しく、異なる波長の25Gbpsの直接変調信号を4つ束ねた波長多重方式や、25Gbps信号を4値位相で動作することに加えて偏波(偏光)による信号の2重化を組み合わせた位相変

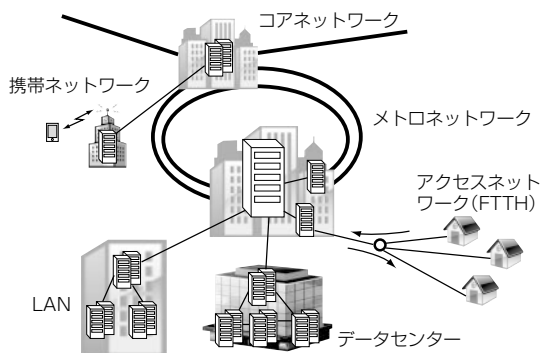


図4. 光通信ネットワーク



図5. 世界各地のFTTH加入者数(2014年度末現在)<sup>(2)</sup>

調方式が業界標準として採用されつつある。

(注2) YouTubeは、Google Inc. の登録商標である。

(注3) Ethernetは、富士ゼロックス株の登録商標である。

### 3.1.2 技術動向

先に述べた各ネットワークの違いによらず、機器やデバイスでは小型・省電力化が進展している。情報通信機器の世界的な電力消費量は増加の一途を辿(たど)っており、2025年には世界の総発電量の15%までも増大することが懸念されている。地球温暖化対策や持続可能な成長を考えると、このネットワークの高速化には同時に省電力化が必須である。機器やデバイスの通信主機能の省電力化は当然のこと、それらの安定動作のために冷却を要することが増え、これら冷却機能の消費電力低減が総電力削減に大きく影響する。省電力方策として、デバイスの高温度動作を可能として冷却の必要性を低減することなどが非常に重要となってきている。

また、通信量の増加に比べ事業収入の増加は緩やかなため、高速化の際に低コスト化が同時に求められる。通信事業者はコスト抑制のため、機器の小型化を進め高密度実装を可能とすることで局舎内スペースの削減につなげることを追求している。小型・高密度化のためには、高温における特性保持も含めた小型・集積化が必要となる。つまり、光デバイスに求められている技術動向は、高速化に加え、低コスト化の市場要求をトリガーとした省電力化及び小型・集積化の3点となる。

#### (1) 高速化

ネットの世界的な普及や映像利用の拡大などをけん引役に常に求められている。

#### (2) 省電力化

メトロネットワーク、コアネットワークで現在多く使われている10Gbpsは、相対的に長距離となる数十km以上の伝送や波長多重による大容量伝送では冷却素子を内蔵した変調器集積LDが主要デバイスだが、その冷却電力を減らすことが省電力化の大きな鍵となる。今後普及が見込まれるアクセス系の10Gbps化にも同様のデバイスが必要となり、先に述べた数の多さを考えると世界的な普及に備え省電力化が喫緊の課題となる。さらにメトロネットワークで求められる100Gbps用デバイスは4つの波長の異なる素子を用いるため、冷却用の消費電力が4倍も必要となり従来以上に省電力化が求められる。そのため、冷却機能を必要とする変調器集積LDに代えて冷却が不用となる直接変調LDなどの新たなデバイスが求められる。冷却などの温度調整を省くには使用環境温度すべてにわたって高速変調信号を送信する広い温度範囲特性を必要とするため、広い環境温度範囲で25Gbpsの高速性を実現する直接変調LDはその有力な候補である。特に近年データ通信量が顕著に増加しているデータセンターは高速かつ省電力のデバイスを求める最先端分野で、今後急速に市場拡大が見込まれる。

(3) 小型・集積化

光デバイスが同時に進むべき方向性である。例えばメトロネットワーク向け100Gbpsデバイスは波長の異なる4素子を集積するため4波長の集積モジュール化が進められている。特に送信モジュールの場合は出射部サイズが数μm程度の4つのLDと入射部が10μm程度の光ファイバをずれなく高密度実装するため、PLC(Planer Lightwave Circuit)を始めとする波長合波技術を用いて集積するなど集積化モジュール技術が今後ますます重要となる。またFTTHでは既にユーザーに普及している既存のGE-PONネットワークをスムーズに次世代10G-EPONネットワークへ移行させるため、光デバイスにもGE-PON/10G-EPONの両方への対応が求められ、デバイスのハイブリッド集積が進みつつある。さらに集積技術の進むべき方向として、コアネットワークでも高速化に伴う位相変調機能の集積化や波長可変LDとのハイブリッド集積又はモノリシック集積が、その究極の集積形態として進められている。

3.2 映像用赤色LD

3.2.1 市場動向

3.1節では光通信の波長1.3~1.5μmの光デバイスに関して述べたが、今後の応用が期待される分野として映像を中心とした可視光LDがある。特に映像分野ではLDの純色性が従来の映像を超える臨場経験をもたらすことや、高い効率などが省電力・環境対応の重要性から注目されている。

近年、当社では映像の質を高める目的で3原色をLDで揃(そろ)えたレーザープロジェクションテレビ“LaserVue”やバックライト液晶に赤色LDを導入したレーザーバックライト液晶テレビ“Real LaserVue”など、LDを採用した映像製品の提供を始めている。さらに映像に関する世界標準として、現在主流のHDTV(High Definition Television)の解像度(1920×1080)を4倍に高めた4K(解像度:3840×2160)規格が定められ、4K規格テレビの市販及び放送が開始されつつある。この4K規格では色域規格の拡張が図られ、従来のテレビで用いられる光源を超えた高い色純度が求められる。図6に4K国際標準規格、通常白色LED(Light Emitting Diode)バックライト液晶テレビ、レーザーバックライト液晶テレビのそれぞれの色域を示す。通常白色LEDを用いた場合に比べ、レーザーバックライト液晶テレビは30%の色域拡大が図られており次世代4K規格テレビで求められる色域規格拡張へ近づいていることが分かる。特に国内では2020年の東京オリンピックに向け、更なる色域拡大と合わせて4K規格テレビ及び放送の普及が進むと期待される。

同じ映像分野のアプリケーションとして、プロジェクタにもLDを採用する動きがある。純色性に加えレーザーの高い指向性及び長寿命がメリットとなるシネマ用プロジェクタや高輝度プロジェクタでは、環境規制によるハロゲンランプや水銀ランプ廃止の動きへの対応と合わせ、今後の

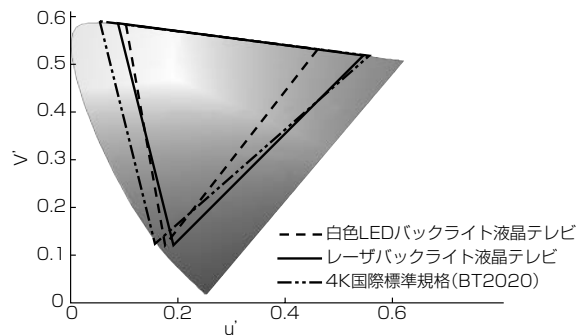


図6. 色再現範囲(CIE 1976 UCS 色度図)

LD活用が大いに期待されている。

3.2.2 技術動向

テレビ用LDは波長及び色純度が今後重要となる。LDは本質的にLEDと比べ色純度が高いが、例えば“赤色”のLDといっても人の目の感度(視感度という)には波長による違いがあり、同じ“赤色”の中でも波長によって必要となる出力が異なる。同時に3原色による広い色域を確保するために必要な波長があるため、両者を考慮したより効率の良い波長のLD開発が活発になることが考えられる。一方で、テレビは長期間の連続利用が前提となるため、家庭環境内の温度や湿度変化に対応することと合わせ、長期信頼性の要求を満たす技術開発が進められている。

シネマ用プロジェクタや高輝度プロジェクタは、数千ルーメンから数万ルーメンの明るさが求められ、必要となるLDの出力はkWレベルに達する。一方で画像を形成するデバイスは小型であるため、光源となるLDも小型サイズが望ましい。そのため小型かつ高出力、すなわち輝度の高いLDが待望される。また動作条件としては、これらハイエンドプロジェクタでは連続駆動が主流で放熱のための冷却を考慮すると、ランプを置き換えることによる環境対応にとどまらず、高効率化による省電力性も重要となる。今後のプロジェクタへのLD適用を拡大してゆくためには、輝度向上を含めた高出力化と高効率化が技術開発の重要な方向性となる。

4. むすび

情報通信の更なる高速化、システムの普及に貢献する装置の小型化と省電力化を実現するための基幹部品である高周波・光デバイスの現状と展望を述べた。これら情報通信分野だけでなく、当社は社会が求めるキーデバイスをグローバルに提供し、ゆとりある社会の実現に向けて貢献していく所存である。

参考文献

- (1) 総務省：電波政策ビジョン懇談会中間とりまとめ (2014) [http://soumu.go.jp/main\\_content/000321305.pdf](http://soumu.go.jp/main_content/000321305.pdf)
- (2) 総務省：Statistics in Ministry of Internal Affairs & Communications, Japan FTTH council, Ovum