

高周波・光デバイスの最新動向と将来展望

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



増田健之*
Kenji Masuda

要旨

デジタルトランスフォーメーション(DX)の進展によって、DXを支える情報通信インフラの重要性がますます高まっている。インフラに不可欠な高周波・光デバイスでは、高速化に加えて、低消費電力化が大きな開発課題になっている。

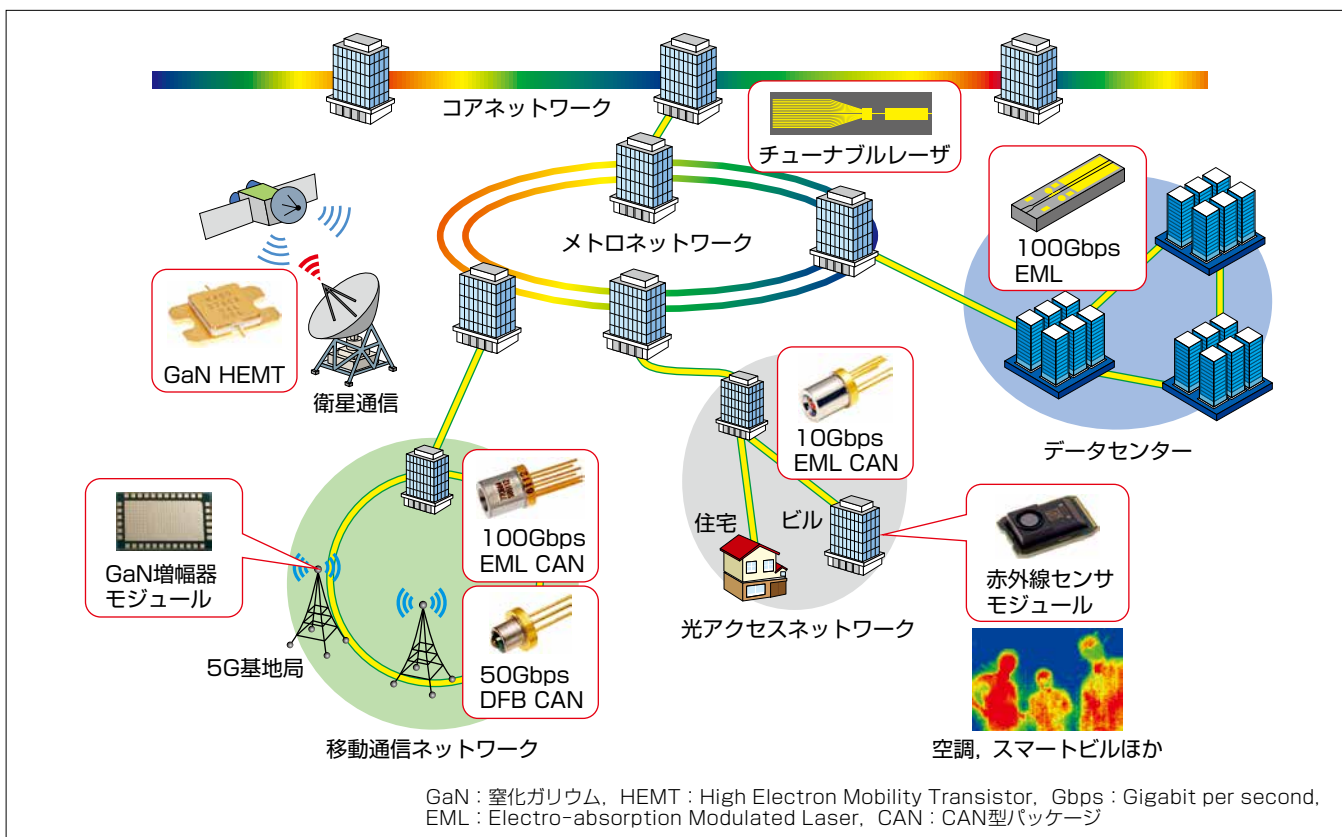
第5世代移動通信システム(5G)は、超高速、超低遅延、超高信頼及び多数同時接続性を特長とし、基地局にアンテナ素子が複数個配置されたアレーアンテナを用いて、各ユーザー端末に向けて広帯域な変調信号を同時かつ効率的に伝送可能である。5G基地局用電力増幅器には、高効率動作と高い線形動作の両立に加えて、広帯域動作への要求が増加している。

三菱電機は、この用途向けに小型高効率で発熱が少なく広帯域なGaN増幅器を開発・製品化している。

一方、通信インフラの基幹部を担う光通信ネットワークは、データセンター内も含めて、ネットワークの全階層で高速化と伝送容量の増強が進められている。

当社は、単位時間当たりの伝送信号量を倍増できる多値変調が可能な光デバイスを開発しており、分布帰還型レーザ(Distributed FeedBack Laser Diode : DFB-LD)では50Gbps、電界吸収型変調器集積レーザ(EML)では100Gbpsまでの製品を低消費電力で実現している。

さらに、当社は、高性能な小型・低価格赤外線センサモジュール“MeDIR”の高画素化や検出温度範囲の拡大を進めており、防犯、室内見守り、人数カウント、スマートビルといった用途に加えて車室内見守りなど幅広い分野への応用が期待される。



当社の情報通信用高周波・光デバイスの適用分野

当社の高周波・光デバイスは、移動通信、光通信、センシングなど幅広い分野に適用されている。

1. ま え が き

データとデジタル技術を活用して、製品やサービス、ビジネスモデルを変革するDXが推進される中、2020年の新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の世界的な拡大を受けて、新たな生活様式へのシフトや企業活動の革新がグローバルな規模で進んでいる。国内のインターネットトラフィックは、2019年11月に比べて約2倍に増加(2022年5月時点)⁽¹⁾するなど、DXを支える情報通信インフラの重要性がますます高まっている。

5Gなどの通信インフラやデータセンターの整備が急速に進められているが、将来、IoT(Internet of Things)や自動運転の普及で大量のデータ通信が必要になると予想されている。“デジタル田園都市国家インフラ整備計画”⁽²⁾では、5Gの特長である超高速、超低遅延、超高信頼及び多数同時接続性を更に向上させたBeyond 5G(6G)の研究開発の推進が示されている。

国内の情報通信インフラの消費電力は2050年には2018年比で500倍以上と予想される⁽³⁾。また、政府方針では、2040年に半導体・情報通信産業のカーボンニュートラルを目指すことが示されており⁽⁴⁾、消費電力の低減が大きな開発課題になっている。

本稿では、これら情報通信の進展やその省電力化を支える高周波・光デバイス、赤外線センサについて、その最新動向と将来展望を述べる。

2. 高周波デバイス

2.1 市場・技術動向

Si(シリコン)系デバイスに比べて高耐圧特性を持つGaAs(ガリウムヒ素)に代表される高周波用化合物半導体デバイスの主な用途は、所望の無線電力レベルに高周波信号を増幅する電力増幅器である。その代表例が携帯電話機及び基地局用電力増幅器(図1)と衛星通信やレーダ用電力増幅器である(図2)。2010年代になると、GaAsよりも高い電源電圧(20~50V)で動作可能なGaNデバイスの実用化が進んで、高出力かつ高効率動作が要求されるレーダや衛星通信用地上局では、GaAsからGaN電力増幅器への置き換えが始まった。

携帯電話基地局用電力増幅器にGaNデバイスが適用され始めたのは比較的最近で、5Gの本格運用が契機と言える。5Gによって3~5GHzという従来よりも高い周波数の利用が可能になった。これまで主役であったSi系電力増幅器よりもGaN電力増幅器の方がより高効率で増幅動

作できるためである。一方、3.7V程度と低い標準バッテリー電圧の下で動作しなければならない携帯電話機用電力増幅器では、Si系デバイスよりも高効率動作可能なGaAs HBT(Heterojunction Bipolar Transistor)が、今なお主役である(図1)。

ここでは、5G及び6Gで活躍が期待される携帯電話基地局用GaN電力増幅器への要求特性とデバイスの将来展望を述べる。

2.2 5G携帯電話基地局用電力増幅器向け要求性能

3G以降の基地局用電力増幅器では、低歪(ひず)みな信号を数km離れた端末に伝送するために、高効率動作と高い線形性動作との両立が求められてきた。5G基地局では、図1に示すように方形状のアンテナ素子が複数個配置されたアレーアンテナを用いて、各ユーザー端末に向けて電波を効率的に照射する空間分割多重技術が使用されている。電力増幅器はアンテナ素子ごとに1個配置される。このアンテナの採用によって、従来よりも周波数利用効率を高めるだけでなく、広帯域な変調信号(図1)を複数のユーザー端末に伝送可能になり、最大で4Gの10~20倍の高速データ通信(10~20Gbps)が可能である。

また、世界各国の通信キャリアに対して共通の基地局で対応し、低コスト化を図るために、電力増幅器には、400MHz又はそれ以上の広帯域動作への要求も増加している。衛星通信用地上局でも複数の搬送波の同時利用を可能にする広帯域化の要求が高まっている(図2)。

電力増幅器の入力電力と出力電力の関係は通例、最大効率が得られる最大出力電力付近で非線形性が顕著に表れる。

電力増幅器の非線形によって生じる歪みの影響は、次の二つがある。一つは自身のチャンネルの信号の歪みと、もう一つは隣接チャンネルへの電力漏洩(ろうえい)として表れる歪みである。前者は自身のチャンネル信号を受信した際のデータの誤り率を増加させ、後者は隣接する他のユーザーのデータの誤り率を増加させるため、共に所定の範囲内に抑制する必要がある。デジタル信号処理を用いた歪み補償

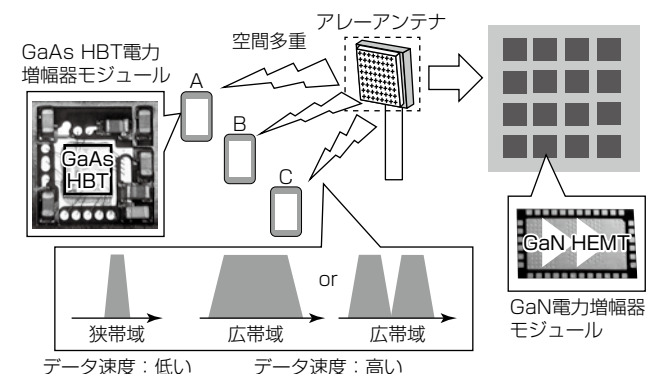


図1. 5G携帯電話機と基地局の電力増幅器

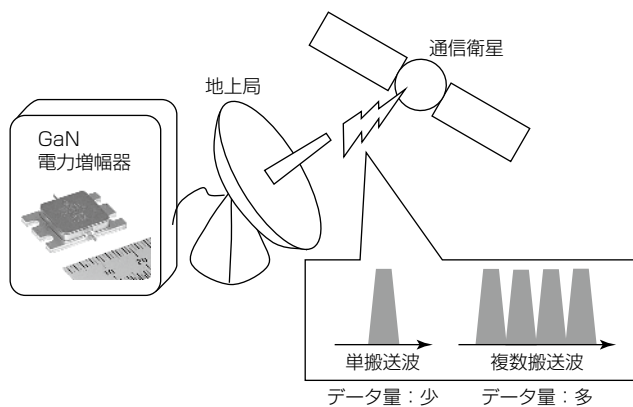


図2. 衛星通信用地上局の電力増幅器

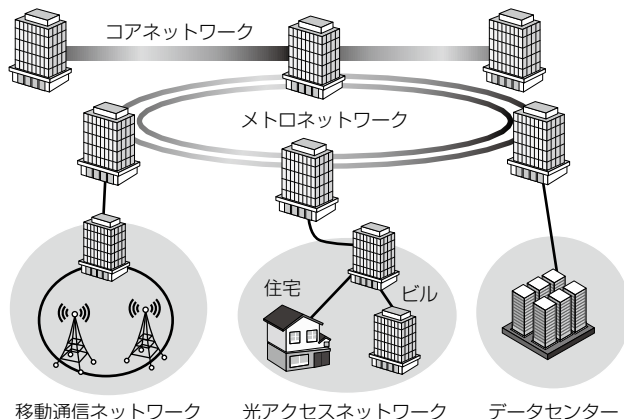


図3. 光通信ネットワーク

装置はこれらの歪みの抑制に非常に有効であるが、高性能な歪み補償機能とそれにかかるコストの間のトレードオフの観点から、GaN増幅器自体の線形性の確保も設計上重要な要素になっている。なお、図2に示す衛星通信用電力増幅器でも、これと同様の理由で線形性の確保は重要な設計事項になっている。

2.3 将来展望

GaNデバイスは実用化が進みつつあるとはいえ、GaAsデバイスに比べてまだ結晶欠陥の多さ等の観点からデバイス技術の成熟には至っていない。そのため今後も結晶成長などの基盤技術の改良が重要である。また、電力増幅器用GaNデバイスの現在の技術課題としては、出力電力の高密度化、高効率動作化、高周波動作化が挙げられる。出力電力の更なる高密度化はデバイスの温度上昇を伴うため、高放熱技術の一つであるGaN on Diamond等の新構造が検討されている。さらに超高周波の利用を目指す6Gでは、40~100GHzのミリ波帯に加えて、THz帯(0.1~10THz)の利用が検討されている。そのため、短ゲート長化などの研究も活発に進められている。GaNデバイスは、今後も性能向上が見込まれ、情報通信インフラのキーデバイスとしての貢献が期待される。

3. 光通信用デバイス

3.1 市場・技術動向

国内の総ダウンロードトラフィックは、固定系ブロードバンドサービスでは2022年5月時点で前年同月比8.8%増加し、移動通信では2021年12月時点で前年同月比16.4%増加している⁽¹⁾。今後もクラウドサービス、高精細動画やAR(Augmented Reality)／VR(Virtual Reality)を含むコンテンツ配信などによって、通信トラフィック総量の増大が見込まれる。通信インフラを担う光通信ネットワーク

(図3)では、光アクセスネットワーク、移動通信ネットワーク、データセンターなど全てで、伝送容量の増強が進められている。具体的には、大都市間や大陸間の数百~数千kmに及ぶコアネットワーク、都市間をリング状に接続する距離数十~数百kmのメトロネットワーク、移動通信基地局とアンテナ部を結ぶ移動通信フロントホールや、移動通信基地局とコアネットワークを結ぶ移動通信バックホールから、データセンター内通信やデータセンター間通信に至るまで、高速・大容量化が進められている。

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更に拡大するために、光の振幅強度だけでなく、位相や偏波に情報を持たせるデジタルコヒーレント通信方式が採用されている。具体例としては、同一波長を二つに分けて90度の位相差を設けて、それぞれに位相反転を含む多値強度変調を加えて合成する直交振幅変調方式がある。移動通信ネットワークと同様に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FTTH(Fiber To The Home)でも、最高10Gbpsを実現するXG-PON(10 Gigabit capable-Passive Optical Network)やXGS-PON(10 Gigabit capable Symmetric PON)の普及が進んでいる。それに加えて、更なる高速化を目指した50Gbpsベースの光アクセスシステムとして、HS-PON(Higher-Speed PON)の標準化の議論も進んでおり、デバイスへ要求される仕様が合意され、実用化開発のフェーズに入っている。PONシステムでは敷設済みの光ファイバ網で端局装置を置き換えることでシステム性能を満たす必要があるが、25/50Gbpsの伝送を10Gbpsと同等の符号誤り率で行うためには、送信側、受信側共に光デバイスの大幅な性能向上が求められる。

5Gや光アクセスシステムに用いられる光デバイスは、屋外に設置されることを想定して、湿度及び幅広い温度範囲に対応できる気密封止パッケージに収めることが要求され、特にその中でも製造コストが低く、従来、光通信用途に多用されてきたCAN型パッケージに組み込まれること

が一般的である。当社では、システムの高速化に対応してチップと並行してパッケージも高速化を遂げており、広帯域化に合わせて4段階の光強度への変調によって単位時間当たりの伝送容量を倍増できるPAM4(Pulse Amplitude Modulation-4)変調を採用することでDFB-LD対応では50Gbps、EML対応では100Gbpsまで製品化を実現している。

大規模なデータセンターで使用される伝送システムでは、多くの光トランシーバを収容するため、空調を含む全体の消費電力低減が大きな課題である。光トランシーバ内部ではデジタル信号処理用プロセッサ(Digital Signal Processor : DSP)の消費電力低減と光デバイスの動作温度範囲拡大が並行して進められている。信号が更に高速化されると、IT機器内でも電気信号伝送路の損失や帯域不足が著しくなり、これをDSPの演算で補償するための電力量が急激に増大する。この抑制には、エネルギー損失の大きい電気信号線路を光へ置き換えることが必要であり、これを実現できる高密度実装性と低消費電力動作を兼ね備えた次世代光デバイスが必要になる。データセンター向け光デバイスとしては、化合物半導体のDFB-LD、EMLだけではなく、シリコン基板上に光導波路、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DFB-LD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市場投入され、データセンター向け短距離通信用光デバイスとして商用化されている。

3.2 今後の展望

国内のデータセンターの消費電力は、2030年には、2018年比で6.4倍になると予測されている⁽³⁾。2030年までに新設データセンターの30%省エネルギー化が政府方針として掲げられており⁽⁴⁾、光デバイスでは、高速化や多値化による1ビット当たりの消費電力低減が追求されていく。化合物半導体は、シリコンフォトニクスで実現できない高効率発光デバイスの機能を今後も引き続き担いつつ、光変調デバイスとしては、今後もシリコンデバイスと性能を争う。化合物半導体と比較して、シリコンは微細加工技術が進んでいるために光導波路の集積化が容易で、ウェーハ大口径化によるコスト低減の利点はあるが、本質的に光との相互作用が弱い材料なので、変調器の大型化を避けられず、今後見込まれる更なる高速化への対応には原理的な困難が予想される。一方、化合物半導体は優位な材料物性を生かした性能向上が可能であり、設計の自由度も高いため、今後の更なる高速化に最適な選択肢であると考えられる。シリコン材料による低コスト集積性と化合物材料による高効率発光、高速変調の利点を融合したデバイスの進展も期待される。当社光デバイスは光通信インフラ市場で高い信頼性を確保してきた実績があり、これを支える高度な製造技

術を今後のデータセンター市場向けなどの製品に展開することで、将来の高速変調、超高信頼度、低消費電力の要求に対応していく。

4. 赤外線センサ

4.1 市場・技術動向

可視光よりも波長の長い光を赤外線と呼び、中でも8～14 μm の赤外線は、遠赤外線と呼ばれる。遠赤外線を測定し画像化することで、被写体温度の判別が可能であることはもちろん、暗視が可能であり、可視波長の外乱光の影響や、煙、霧など波長より小さい微粒子による散乱の影響を受けにくい。

赤外線センサは高画素・高分解能の赤外線カメラ用途と、低画素・低分解能の熱検知用途に分けられる。赤外線カメラは主に監視装置に使われ、熱検知用センサは照明の自動点灯、自動ドア、空調などに使われてきた。近年は、赤外線カメラの画像に簡単な画像解析を行うことで、防犯、室内見守り、人数カウント、スマートビルといった用途に加えて車室内見守りなどでも活用され市場が広がっている。

4.2 赤外線センサMeiDIRの展開

当社は、衛星からの地球観測目的で開発したサーマルダイオード赤外線センサ技術を活用し、高画素・高分解能な独自方式の赤外線センサを開発してきた。サーマルダイオード赤外線センサは、ボロメータ方式のセンサと比べて低コスト化が容易で、焦電センサやサーモパイル方式のセンサと比べて高画素化が可能でかつ高性能という特長がある。

このような特長を生かして、2019年、一般民生用向けに小型・低価格赤外線センサモジュール“MeiDIR”シリーズの最初の製品としてMIR8032B1を発売した。市場で一般的に採用されている16 \times 16のサーモパイル方式の赤外線センサと比べて約10倍(80 \times 32)の高画素化と5倍の温度分解能(100mK)を実現して、当社ルームエアコン“霧ヶ峰”の“ムーブアイ mir A.I.+ (ミライプラス)”などに採用された。さらに“より広い範囲で高精度で人・物の識別や行動把握を行いたい”という要望に対応して、MIR8032B1と同じセンササイズと温度分解能で従来製品の1.8倍の画角(78 \times 53 $^\circ$)と1.9倍の画素数(80 \times 60)を実現したMIR8060B1の販売を2022年に開始した。AIを活用したサービスを提供する当社“MeiCare”や三菱電機インフォメーションシステムズ(株)の“kizkia-Knight”に採用され、プライバシーを考慮した見守りに活用されている。

さらに2022年から2023年にかけて、MIR8060B1と同じセンササイズと画角のまま、設備監視などの“より高い温

型名	MIR8060B1	MIR8060B3
モジュールサイズ	19.5×13.5×9.5(mm)	
画素数	80×60	
画角	78°×53°	
フレームレート	4fps/8fps	
温度分解能(NETD)	100mK(代表値)	400mK(代表値)
温度検知範囲	-5~60(°C)	-5~200(°C)
動作温度範囲	-20~85(°C)	

図4. MeIDIRシリーズの外観と主要諸元

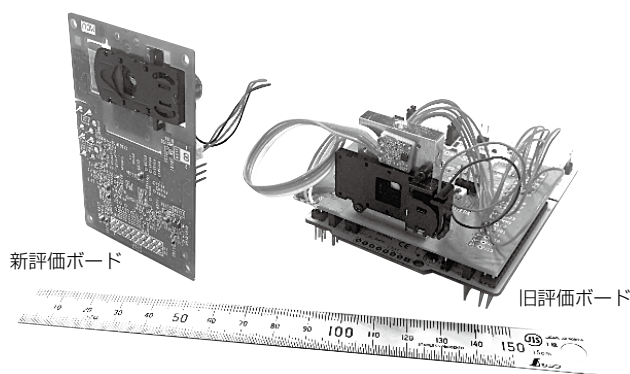


図6. 評価ボード

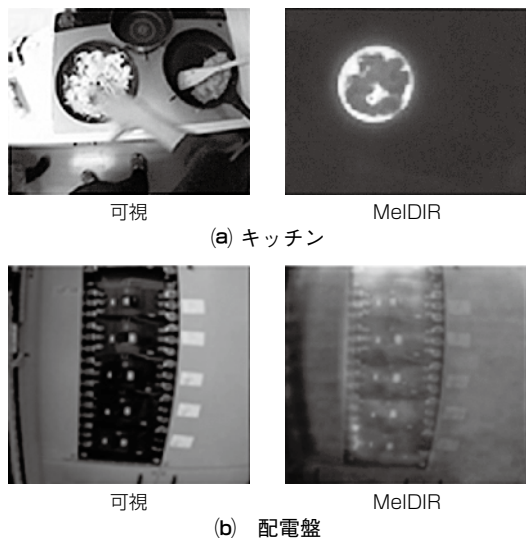


図5. MIR8060B3での撮像例

度の確認をしたい”という要望に対応したMIR8060B3を開発した(図4)。

MIR8060B3は従来60℃までしか判別できなかった熱源を200℃まで拡張することで、キッチンでの油の温度や、配電盤の異常発熱などの確認が可能になっており、防災など様々な分野への応用が期待される(図5)。

4.3 MeIDIRのユーザーサポートツール

MeIDIRは発売開始以来、顧客での評価や製品開発をサポートするためのツールの拡充を行ってきた。

図6に2022年にリリースを開始したMeIDIRの評価ボードの写真を示す。従来の評価ボードは汎用マイコンボードにMeIDIRを接続する形で提供してきたが、新評価ボードはマイコンを搭載した基板上にMeIDIRと熱画像の撮像に必要なシャッターなどを直接実装する構造にして、使い勝手の向上とともに顧客の実際に開発する製品に近い形態にした。また、評価ボードの設計情報もリファレンスデザインとして提供するため顧客の開発負荷低減が期待できる。

また、ソフトウェア面では従来のMeIDIRをマイコンで制御するプログラムとマイコンで読み出したデータをパソコン画面上で表示を行うプログラムに加えて、新たにマイ

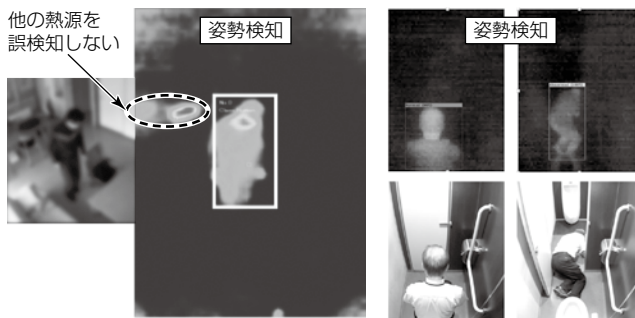


図7. MeIDIR+AIによる人検知例

コン上で動作可能なエッジAIによる人検知アルゴリズムの提供を開始して、MeIDIRを使用した人検知を容易にした(図7)。

このようにMeIDIR販売開始以来、ラインアップの拡充とユーザーサポートの強化を進めており、より広い範囲の社会課題の解決に貢献していく。

5. む す び

情報通信の進展を支える高周波・光デバイスの最新動向と将来展望について述べた。高周波・光デバイスは、DXの推進に不可欠なキーデバイスとして、ますますその重要性が増している。当社は、今後も時代に即応した先進的なデバイスを提供し続けることで、活力とゆとりある社会の実現を目指す。

参考 文 献

- (1) 総務省 総合通信基盤局 電気通信事業部 データ通信課：我が国のインターネットにおけるトラフィックの集計結果(2022年5月分) (2022)
https://www.soumu.go.jp/main_content/000828247.pdf
- (2) 総務省：デジタル田園都市国家インフラ整備計画 (2022)
https://www.soumu.go.jp/main_content/000803507.pdf
- (3) 国立研究開発法人 科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター：情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響(Vol.3) (2021)
<https://www.jst.go.jp/lcs/pdf/fy2020-pp-04.pdf>
- (4) 首相官邸：成長戦略実行計画 (2021)
<https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/seicho/pdf/ap2021.pdf>