

# 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

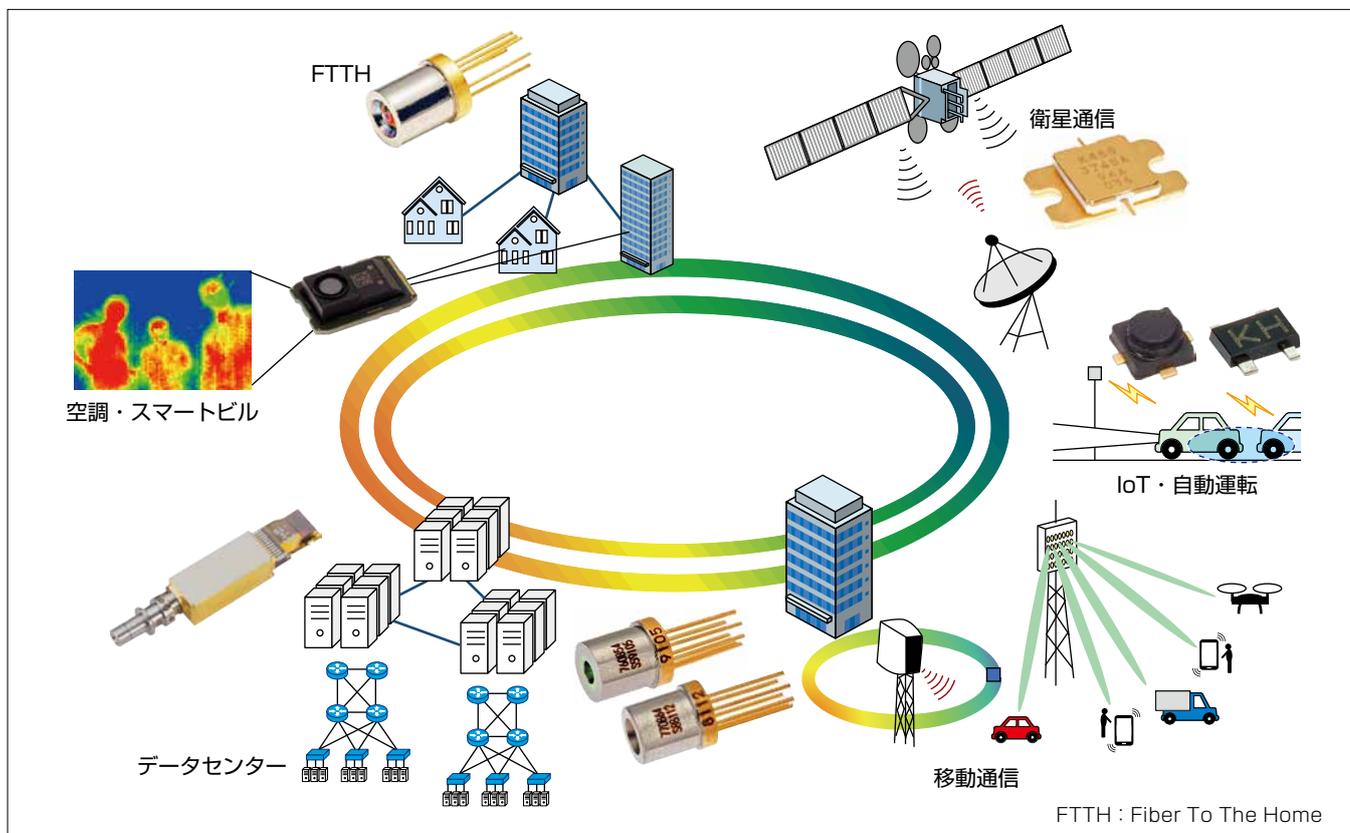


竹見政義\*  
Masayoshi Takemi

## 要 旨

デジタルトランスフォーメーション(DX)は、人との物理的接触を低減した経済活動や新生活様式へのシフトにも寄与するため、新型コロナウイルス感染症抑制の視点でも重要性が高まっている。DXの推進には、第5世代移动通信システム(5G)や、これをインフラとしたIoT(Internet of Things)、さらには大量のデータを伝送できる光通信ネットワークが必要である。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ている。Massive MIMO(Multi Input Multi Output)アンテナを用いた基地局が設置され、多数のアンテナから位相や振幅を制御した電波を放射することで、多くのユーザーに各々電波のビームを照射し、同時多接続と高速大容量通信を両立させる。三菱電機はこの用途向けに小型高効率で発熱が少ないGaN(窒化

ガリウム)増幅器を開発・製品化している。また、通信インフラの基幹部を担う光通信ネットワークは、5Gに加えて、データセンターの増設・大規模化、クラウドサービスやインターネットの普及等による通信トラフィック総量の増大に応えるためネットワークの全階層で高速化・伝送容量の増強が進められている。当社は、分布帰還型レーザ(Distributed FeedBack Laser Diode :DFB-LD)では25Gbps、電界吸収型変調器集積レーザ(Electro-absorption Modulated Laser :EML)では100Gbpsまでの動作を実現している。さらに、当社は、低コスト化・高画素化が可能でかつ高性能な小型・低価格赤外線センサモジュール“MeIDIR”を製品化しておりIoTへの適用が期待される。



## 当社の情報通信用高周波・光デバイスの適用分野

当社の情報通信用高周波・光デバイスは、無線通信、光通信、IoT・自動運転、空調・スマートビル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ことを通じて日本企業の競争優位を目指し、カーボンニュートラルにも貢献するDXが推進されている<sup>(1)(2)(3)</sup>。DXは人との物理的接触を低減した経済活動や新たな生活様式へのシフトにも寄与するため、新型コロナウイルス感染症抑制の視点でも重要性が高まっている。DXの実現に必要な超高速、超低遅延、超高信頼及び多数同時接続性を特長とする5Gが始まり、これをインフラとしたIoTや自動運転等の実用化も進んでいる。また、これらを支える通信インフラの基幹部を担う光通信ネットワークは、5Gの運用開始に加えて、データセンターの増設・大規模化、クラウドサービスやインターネットの普及等による通信トラフィック総量の増大に応えるためにネットワークの全階層で高速化・伝送容量の増強が進められている。

本稿では、情報通信の進展を支える高周波・光デバイスについて、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 5GからBeyond5G/6G移動通信

移動通信では5Gの本格的な運用が始まり、従来の第4世代移動通信システム(4G)では不可能であった様々なサービスが始まろうとしている。5Gでは①超高速eMBB(enhanced Mobile Broad Band)、②超低遅延、超高信頼URLLC(Ultra-Reliable and Low Latency Communications)、③多数同時接続mMTC(massive Machine-Type Communications)を特長としている(図1)。

10~20Gbpsの高速通信によって、8Kビデオやテレワーク、ゲームを行えるとともに、クラウド上のAIを駆使したXR(Extended Reality)による仮想空間と現実世界の融

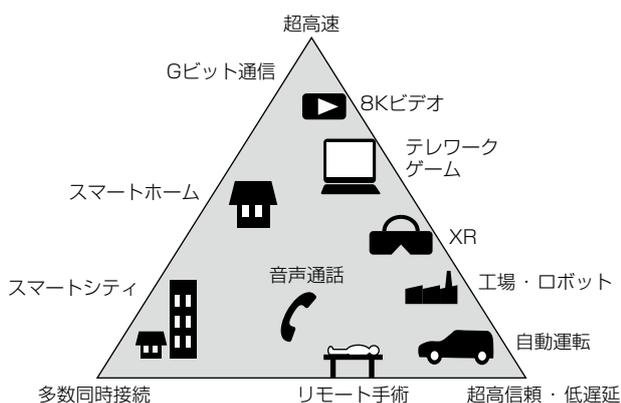


図1. 5Gの特長と応用

合が可能になりつつある。また、高信頼で遅延のない制御によってロボットや工場のコントロール、自動運転、リモート手術といったリアルタイムでの応答が可能になり、ミッションクリティカルと呼ばれる社会的に重要な情報システムに展開されつつある。さらに1平方km当たり100万台もの多数のデバイスを接続することによって、多様なセンサからのデータを活用でき、スマートシティの実現に寄与している。

5Gではこのような特性を実現するためにMassive MIMOアンテナを用いた基地局が設置されており、多数のアンテナから位相や振幅を制御した電波を放射することによって、多くのユーザーに各々電波ビームを照射し、同時多接続と高速大容量通信を両立させている(図2)。GaN増幅器は小型高効率で排熱が少ないことから、これらのアンテナに多用されている。

化合物半導体であるGaNやGaAs(ガリウムヒ素)はSi(シリコン)よりもバンドギャップの大きい材料であり、絶縁破壊電圧が高くて高電圧で動作させることが可能で、小さいデバイスサイズで大電力を出力できる特長がある。そのため出力電力当たりの寄生容量や抵抗を小さくでき、効率がよく、より広帯域な増幅器を実現できる。中でもバンドギャップが大きいGaNは小型化と省エネルギーが求められる5G基地局に最適であり、高度通信社会を支えるインフラに貢献している。

5Gでは通信容量を増やすために従来の0.9~2GHz帯に加えて3~5GHzの帯域を新たに使うとともに、28~40GHzといったミリ波帯まで用いている。化合物半導体は電子の移動度が高く、より高い周波数での動作性能が優れているため、今後伸びていくものと考えられる。

5G以降に計画されているBeyond5G/6Gの通信では40~100GHzのミリ波帯の活用に加えて、300GHzといったTHz帯の利用も検討されており、桁違いに高速なデバイスが求められる。また、衛星通信や飛行船、ドローン等の活

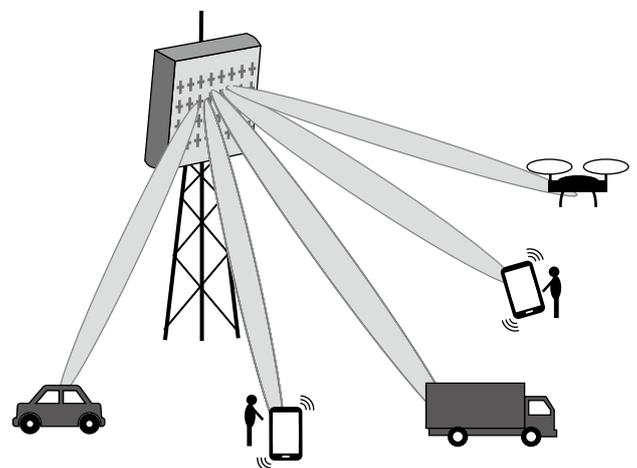


図2. Massive MIMOアンテナ基地局

用によって、地球上のどこでも高度な通信サービスが受けられるシステム構築を目指しており、多種多様な通信手段の充実化が図られる。化合物半導体の高度化によって、こうした需要に応えていく。

## 2.2 IoT・自動運転

物と物との通信システムとして、IoTや、車の通信を用いた自動運転が実用化しつつある。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リアルタイムな制御を可能にする低遅延技術といった5Gと共通する技術開発に加えて、③多様な情報を取得するセンサ技術や④V2X(Vehicle to X)と呼ばれる車と全ての物との通信技術、⑤膨大なデータを短時間に処理するAIや量子コンピュータの開発が行われている。

化合物半導体は車や障害物の位置や速度を検知する車載レーダに用いられている。さらに、渋滞を避けたり交差点の情報を得たりすることによって安全でスムーズな運転を行うため、車車間や路車間通信によって道路や交差点の状況や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V2X通信技術が開発されている。これらの通信デバイスには高周波性能に優れるGaAsやGaNデバイスが用いられている。IoTに用いるセンサの通信機器にはバッテリー駆動可能な小電力デバイスが求められるために安価なSi系デバイスが多用されるが、カバーエリアが広く高出力が要求される基地局には低消費電力なGaNデバイスが活用されている。また、大規模コンピュータや量子コンピュータのインタフェースにはマイクロ波やミリ波等の電磁波が検討されており、今後化合物半導体の活用が期待される。

このように、半導体はユースケースに応じて最適なデバイス・材料が使われるため、化合物半導体の長を生かした製品群によってICT(Information and Communication Technology)社会の構築に貢献していく。

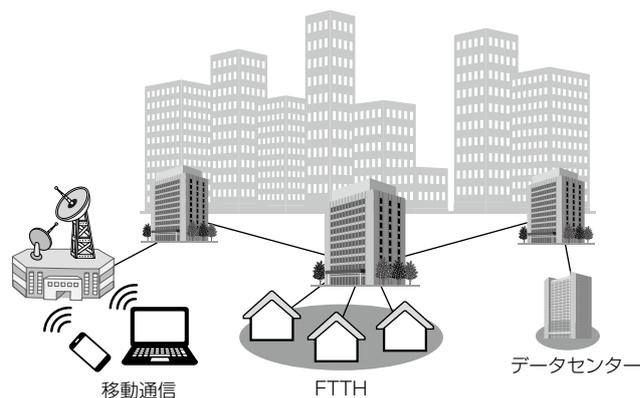


図3. 光通信ネットワーク

ど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。具体的には、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(Mobile Fronthaul: MFH)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(Mobile Backhaul: MBH)から、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、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、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。

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でも、最高10Gbpsを実現するXG-PON(10 Gigabit capable-PON(Passive Optical Network))やXGS-PON(10 Gigabit capable Symmetric PON)の導入が本格化しており、高速化が進んでいる。さらに、光アクセスシステムの更なる高速化を目指して、25Gbps/50GbpsベースのPONシステムの仕様を標準化したIEEE 802.3ca-2020が採択され、実用化開発のフェーズに入った。PONシステムでは物性や伝送距離があらかじめ定まった敷設済みのシングルモードファイバ網で端局装置を置き換えることによってシステム性能を満たす必要があるが、25Gbps/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移動通信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、従来光ファイバ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。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、DFB-LD対応では25Gbps、EML対応では100Gbpsまで動作が確認されている。ただし、100Gbpsでは、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PAM-4(Pulse Amplitude Modulation -4)変調が採用されている。

## 3. 光通信デバイス

### 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(図3)では、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の普及に伴うデータセンターの増設・大規模化や、5G移動通信の導入、インターネット接続デバイス数の増加などによって、通信トラフィック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、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

データセンターや波長多重(Wavelength Division Multiplexing: 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では、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機器内でも光化されていない電気信号伝送路の損失や帯域不足が著しくなり、これを補償するための電力量が急激に増大する。この抑制には、伝送路の光化が重要であり、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、シリコンプラットフォーム上に光導波路、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。

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、同一波長を二つに分けて90度の位相差を設け、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(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るようになった。

### 3.2 今後の展望

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競う。シリコンは材料自体や単位面積当たりの加工費が安価にできる利点はあるが、本質的に光との相互作用が弱い材料なので、変調器チップの大型化が避けられず、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、化合物半導体は優れた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、デジタルコヒーレント通信用途を含む今後の更なる高速化にも最適な選択肢であると考えられる。今後、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。また、データセンター用通信設備に代表されるように、今後は一つの装置に多数の光デバイスが収容されるので、個々のデバイスに要求される長期信頼性のレベルが桁違いに高くなることが想定される。当社の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製品にも展開することで、将来の超高信頼度の要求にも対応していく。

## 4. 赤外線センサ

### 4.1 市場・技術動向

波長380nm(青)~780nm(赤)の可視光よりも波長の長い領域の光を赤外線と呼び、中でも8~14 $\mu$ mの赤外線は、遠赤外線又はLWIR(Long-Wavelength InfraRed)と呼ばれている。遠赤外線を測定して画像化したイメージの特長としては、被写体温度の判別が可能であることはもちろん、暗視が可能であること、可視波長の外乱光の影響を受けにくいいため、煙、霧などの波長より小さい微粒子による散乱の影響を受けにくいことが挙げられる。

従来、赤外線センサは高画素・高感度の赤外線カメラ用途と、低画素・低分解能の熱検知用途に大きく分かれていた。赤外線カメラにはボロメータ方式のセンサが、低画素センサには焦電センサやサーモパイル方式のセンサが採用されている。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、赤外線カメラに使用されていた高画素センサの低画素化や、従来熱検知に使用されていたセンサの高画素化によって簡単な画像解析を伴う、防犯、見守り、スマートビル、人数カウントといった用途が広がり、これまで大きくなかった市場が急成長を示している。

### 4.2 赤外線センサMeIDIRの特長と応用

当社では1980年代から赤外線センサの技術開発を行い、独自方式のサーマルダイオード赤外線センサ技術を開発し、高画素、高分解能な赤外線センサに適用してきた。サーマルダイオード赤外線センサ技術は、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、2019年一般民生用に小型・低価格赤外線センサモジュール“MeIDIRシリーズ”の最初の機種として“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)を実現している。当社ルームエアコン“霧ヶ峰”の“ムーブアイmirA.I.(ミライプラス)”にこのセンサを搭載することで、部屋の状態を熱画像で確認し、気流の調整を行って快適性向上に貢献しており、その他、体温検知等の製品にも搭載されている。

MeIDIRシリーズの次の機種として、“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”というユーザーの要望に応じて、MIR8032B1と同じセンササイズと温度

分解能で、かつMIR8032B1の1.8倍の画角(78°×53°)と1.9倍の画素数(80×60)を実現した“MIR8060B1”を2021年7月に発売することを発表した。画角だけではなくフレーム更新周期を従来の4fps(frames per second)に加えて、8fpsを追加し、“より速く動く熱源を精度良く検出したい”という要望にも対応した(図4)。

#### 4.2.1 MeIDIRの特長

MeIDIR用の赤外線センサ素子に採用されているサーマルダイオード赤外線センサは、赤外線検知部をシリコン半導体製造工程でPNダイオード形成するために高い均質性で高画素化が可能になる。温度検知部は半導体プロセスでPNダイオードを形成後MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)技術によってダイオードが支持脚に保持される中空構造を形成し、その後、検知部周囲が真空になるように封止することで高感度を実現している。また、ダイオードと同一シリコン基板上に高性能アンプを形成することで高い温度分解能を実現している。

さらに、MeIDIRは従来セラミックパッケージによって実現していた真空封止構造を、ウェーハ一括形成によって真空封止を行うチップスケールパッケージ技術を開発し、小型化を実現するとともに生産性を飛躍的に向上させた(図5)。

#### 4.2.2 MeIDIRの応用例

図6は防犯応用を想定した暗い室内での侵入検知の事例である。この事例では可視カメラが侵入者を捉えられない状況でも赤外線センサは侵入者の行動をはっきりと捉えていることが分かる。

図7は病室内見守り応用の事例である。ベッドから降りようとしている人が転倒する状況を赤外線画像でもはっきりと捉えており、室内の照明が落ちた状態でも検知性能の低

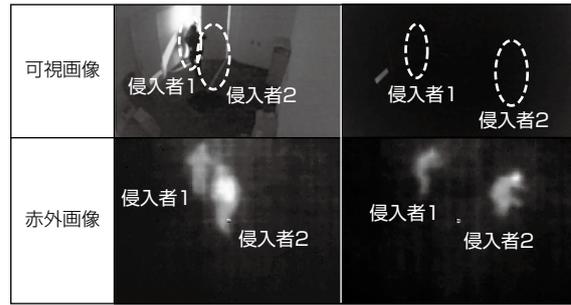


図6. 防犯応用の侵入検知イメージ

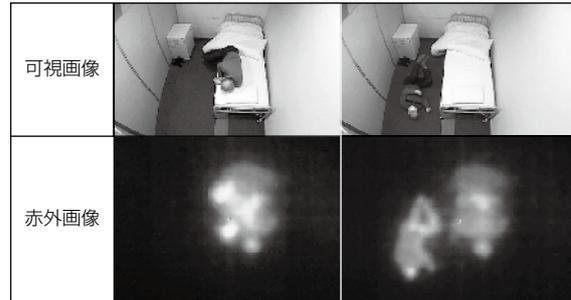


図7. 病室内見守り応用の転倒検知イメージ

下がらないという特長によって、対象人物のプライバシーを考慮しつつ見守りを行うことが可能である。

このように、MeIDIRは小型・高分解能で比較的安価な赤外線センサを提供することで、空調、防犯、見守り、スマートビル、人数カウント以外にも幅広い分野で応用が進むと考えられる。

## 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、日本企業の競争優位に貢献するDXの推進を支え、新型コロナウイルス感染症抑制の視点からも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、先進的な高周波・光デバイスの提供を通じて、ニューノーマルへの適合を支援して活力とゆとりある社会の実現を目指す。

### 参考文献

- (1) 経済産業省：デジタルトランスフォーメーションを推進するためのガイドライン(DX推進ガイドライン)Ver.1.0(2018)  
<https://www.meti.go.jp/press/2018/12/20181212004/20181212004-1.pdf>
- (2) 首相官邸：第二十三回国会における菅内閣総理大臣所信表明演説(2020)  
[https://www.kantei.go.jp/jp/99\\_suga/statement/2020/1026shoshinhyomei.html](https://www.kantei.go.jp/jp/99_suga/statement/2020/1026shoshinhyomei.html)
- (3) 経済産業省：2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(2020)  
<https://www.meti.go.jp/press/2020/12/20201225012/20201225012-2.pdf>



図4. MeIDIRシリーズの外観と主要諸元

形名	MIR8060B1	MIR8032B1
モジュールサイズ	19.5×13.5×9.5(mm)	
画素数	80×60	80×32
画角	78°×53°	78°×29°
フレームレート	4/8fps	4fps
温度分解能(NETD)	100mK	100mK

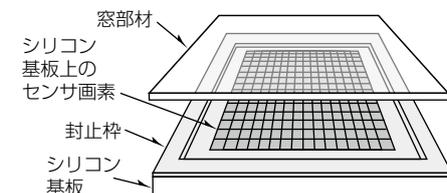
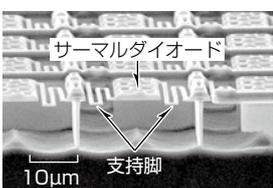


図5. 真空封止構造とチップスケールパッケージ