

## ウェアラブルに使用される MID 技術について

上 館 寛 之\*

### 1. はじめに

身につけるデバイス=ウェアラブル端末は2012年あたりから登場しはじめた。大きな話題となった代表的なデバイスとしては、Google Glassなどの眼鏡型端末、2015年に発売された腕時計型端末である Apple Watch があげられる。これら以外にも指輪型、衣服に回路を埋め込んだデバイスなどウェアラブル端末の発表が進んでおり、民生機器のみならず医療用途、産業用途においても大きな可能性を持った機器として注目を集めている。

ウェアラブル端末はその名の通り、“身につける”ことを前提に製品化されているため、デザイン自体が重要な要素となる。機器を軽量化することも喫緊の課題であり、一方で普及させるためのコストダウンも同時に要求される。これらの要求を満たすために樹脂成形品をウェアラブル筐体を使用することが一般的である。また、より軽量で小型の電子回路を構築するために高密度配線回路、薄型のフレキシブル基板、高集積化されたチップなどが使用される。

このように製品が軽量小型化していくには、機械的部品と電気回路部品のますますの小型化が不可欠である。それを実現するひとつのコンセプトが樹脂成形品上の回路形成可能な成形回路部品 (MID) である。本稿ではMID自体の説明からMIDが現在のウェアラブル端末にどのように応用できるかについて解説する。

### 2. MID とは

#### 2.1 MID の定義

MID は Molded Interconnect Device の略称で、直訳すると“配線回路付プラスチック成形品”である。より正確に表現するとすれば、機械的機能と電気的機能をもった電気配線回路付プラスチック射出成形品といえる<sup>1)</sup>。通常は“成形回路部品”と訳されるが、立体配線基板、3D回路もMIDを表す言葉である。最近ではドイツのMID協会である3-D MID e.V.がMIDを“Mechatronic Integrated Device”として定義をみなおしている。この背景には射出成

品以外への立体配線加工も登場してきて、MIDの定義を広げる必要があったからであろう。日本から発信された“メカトロニクス”という言葉は、もともと機械工学、電気工学を合わせた概念でMIDの定義を内包しているので3-D MID e.V.の定義もうなずける(図1)。

#### 2.2 MID の歴史

##### ・黎明期-2回成形法

1970年代後半から1980年代前半にかけてプリント基板代替のMCB (Molded Circuit Board) という技術がアメリカで提唱された。これはプラスチック筐体に直接配線を作成することでプリント基板レスを目指したもので、MIDの前身となる技術であった。初期開発や特許取得に携わった企業としては、AT&T Bell Labs, Union Carbide, GE Plasticなどがあげられる。アメリカ企業のCircuit-WiseがGeneral Electric Plasticsと作ったベンチャーMint-Pac TechnologyがMID製造を始めたとされている。ヨーロッパでは1984年にドイツBuss-WerkstofftechnikがGE PlasticのUltemを使用した2回成形法を開始している<sup>2)</sup>。日本では1988年に三共化成が2回成形法(SKW-1法)で車載用ソーラーセンサーを量産開始したのが国内初のMID事例とされている。しかし、2回成形法は回路、筐体の修正に金型修正作業を要し開発コストが高額になるため大量生産による償却の必要があった。

##### ・1回成形法の台頭

そこで1990年代よりレーザーを使用したMID製造方法-1回成形法が台頭する。その中心となったのがドイツLPKF Laser&Electronicsの「LDS」とPanasonic(旧松下電工)が開発した「MIPTEC」である。1回成形法+レー

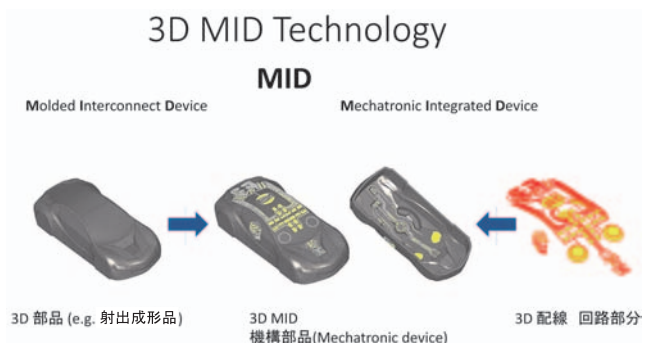


図1 MID の概念

\* Kamidate, Hiroyuki  
LPKF Laser&Electronics(株)  
東京都港区芝2-3-8 臨海ビル 101号室 (〒105-0014)  
hiroyuki.kamidate@lpkf.com  
2015.8.26 受理

ザーを用いたこれらの工法は複雑な金型を必要とせず、回路の修正にもデータ編集のみでの対応が可能となったことで、MID生産に大きなインパクトを与えた。特にLPKF-LDS<sup>®</sup>は携帯電話、スマートフォンのアンテナ製造方法として中国をはじめとするアジア地域で広く使われることとなった。それに対してMIPTECは小型のセンサモジュールやカメラモジュールといった微細配線を必要とする部品に採用されてきた実績がある。2015年現在ではアンテナ製造法をターゲットとしたMIDの新規工法がアジア地域から発信されているが、ほとんどが1回成形法+レーザーを使用する工法である。

#### ・MIDに関する学術組織

MIDに関する学術組織のさきがけは1993年にアメリカで設立されたMIDIA (Molded Interconnected Device International Association) である。アメリカとドイツの主要MIDメーカーが中心となって設立された組織で、のちに日本企業も参加していたが<sup>2)</sup>、MIDIAは発展的に解消された。ヨーロッパでは、1993年にErlangen-Nuremberg大学 (FAU) 内の生産技術研究所であるFAPS (Institute for Factory Automation and Production Systems) によってResearch Association 3-D MID (3 D-MID e.V.) が設立された。現在では主にヨーロッパを拠点とする100以上の会社、研究機関が会員となっておりMIDについての研究、リサーチの世界最大拠点となっている。3 D-MID e.V.は2年に一度MID国際会議を開催しており多数の国から講演者、参加者を集めている。日本では1996年にMID研究会が発足し、2002年には研究会を吸収する形で日本MID協会が発足した。年1回のMIDに関する定例会 (講習会) を中心に日本国内におけるMIDの普及活動を行っている。中国では3 D-MID Committee of FSZIが2013年に設立された。3 D-MID e.V.と連携を取りながら2年に一度国際会議を開催している。

### 2.3 MIDを使用するメリット

MIDは主に樹脂筐体 (機械的機能) に電気的機能を付加した部品である。その利点は、

- ・小型化            - 3Dパッケージによる省スペース化
- ・性能向上         - 3Dにすることでアンテナ性能アップ
- ・機能統合         - 筐体+アンテナ, 筐体+光学反射板など
- ・部品点数削減    - コネクタやアンテナを筐体に統合することで追加部品が不要
- ・生産 (組立) 工程の削減   - 部品が減るため組立, 実装工程が減る

これらの特長を十分に活用し、最終的にはコストダウンを目指すのがMIDを使用する目的となる。MID採用事例においては10~50%程度のコストダウンを図ることができたとの報告もある。

コストを比較する場合、比較対象は筐体+従来のプリント基板、あるいはフレキシブル基板+組立 (貼付) となる。同じ形状、同じ容積の製品・回路で、プリント基板・フレキシブル基板と比べるとMIDのほうが高額になることに注意したい。多層回路、信頼性、安価な製造方法といった要素から電子回路の基材として第一に選択されるのはプリント基板であり、MIDはプリント基板の代替品とはいま

だなりえていない。従来品よりも小型化が必要で、機能統合、3D (曲面含む) を用いたデザインの再構築を行い、かつ組立工程などのトータルな生産コスト管理ができる状況にMIDのコストメリットが生まれる。

### 2.4 MIDの採用事例

MIDの黎明期にはプリント基板代替としての採用事例が多い。このような事例はリードフレームのインサート成形、ホットスタンプ法による金属箔の熱圧着により徐々に少なくなっていく。代わりにコネクタ代替、リードフレーム代替という採用例が増えたが、一番大きな採用事例となったのが携帯電話やスマートフォンの内蔵アンテナである。従来の内蔵アンテナはプリント基板、インサート成形、もしくはフレキシブル基板をアンテナ筐体上に貼り付けるといった方法を用いて製造されていたが、MIDの採用でアンテナエレメントを自由に3D形状で設計することにより、限られたスペースで極限までアンテナ性能を引き出せるようになった。国内初期の携帯電話用内蔵アンテナは三共化成 (SKW法)、日立電線 (PCK法) から供給されていた。

2012年ごろからスマートフォンの生産が増加してきた。アンテナの種類が増え、デザイン性を重視するスマートフォンに対してはMIDが非常に有効であるとされた。中でもLPKF-LDS<sup>®</sup>は中国などのスマートフォン生産拠点に多数採用され、全世界で生産されるスマートフォンの約半数がなんらかのアンテナにLDSを採用するまでになった。2005年にはLDS用の材料使用量は0であったが、2014年には4500トン以上のLDS用樹脂が中国国内だけで販売されるに至っている<sup>3)</sup>。

生産量で見るとアンテナはMID製品市場の9割に至る。その他の事例としては、自動車ハンドル部品、補聴器、高周波コネクタ、インターフェイス基板、光トランシーバ、センサケース、機能デバイス、光ピックアップアクチュエータ、フィルターパッケージ、モーター、圧電パッケージ、CCDセンサ、シールドコネクタなどがあげられる。

## 3. MID工法とプラスチック材料

### 3.1 工法について

現在、国内外含めいろいろなMID工法が提唱されている。日本国内では回路パターン生成に乾式、湿式めっきを用いた手法が主流となっている。板金インサート成形、フレキシブル基板インサート成形法などはMIDの枠組みにとらえるべきかどうか判断の分かれるところではある。その他、ホットスタンプ法という導体 (金属箔) をプラスチック筐体に熱圧着する方法、OptomecなどのAerosol Jetという導電回路塗装方式もあるが、国内では現在ほとんど使われていない。

日本国内での主要MID工法については表1に示す。

MID工法は大きく分類すると1回成形法と2回成形法に分類される。1回成形法は1つの金型を用いて射出成形されたプラスチック部品を筐体とするもので、2回成形法は2つの金型を使い、異素材を成形した部品を使用するものである。筐体に対しては電解めっき、もしくは無電解めっきにより回路パターンを生成する。

表1 日本国内での主要MID工法

分類	回路	工法	製造メーカー
1回成形法	電解めっき	MIPTEC	Panasonic
		SKW-L1	三共化成
	無電解めっき	Laser Direct Structuring (LDS)	LPKF Laser&Electronics Panasonic エビナ電化工業 その他LDSライセンス各社
		SKW-L2	三共化成
2回成形法	電解めっき	SKW-3	三共化成
	無電解めっき	PCK	TE、他
		SKW-1、SKW-2	三共化成

\*色が濃いところはレーザー工法

### 3.1.1 1回成形法

1回成形法の主要MID工法はすべてレーザーを使用しており、回路パターンの変更はデータ編集のみで可能となる。物理的に陰になる部分にはレーザー照射ができないので完全な3D構造ができないところが難点でもある。図2に1回成形法の代表的な工程を示し解説する。

#### ・MIPTEC

Panasonicが開発したMicroscopic Integrated Processing Technology, 微細複合加工技術の略称。独自の成形表面活性化処理技術とレーザーパターニング工法などを用い、微細パターニングかつベアチップ実装が可能な3D実装デバイスを実現する技術。成形品に対しスパッタで薄い銅層を形成し、レーザーで回路パターン境界を加工、回路パターン部に電解めっきをした後、エッチング工程を経て完成となる。

回路パターンでのライン/スペース=50μm/50μmを実現しており、スパッタ+電解めっきによる表面処理で優れ

た表面平滑性を特長としている。MID製造工法のなかでも小さな部品を得意としている。使用可能な材質はPPAのみ。電解めっきなので給電回路作成と除去が必要。

#### ・SKW-L1, SKW-L2

三共化成が開発したレーザー工法。三共化成は2回成形法(SKW)を開発し、MID量産でも有名だが、近年レーザー工法も開発している。SKW-L1はMIPTECと似通った技術でスパッタの代わりに無電解銅めっきによる薄膜をつけるところが異なる。

SKW-L2は一般樹脂成形品の回路パターンを生成したい箇所にレーザーを照射、樹脂の表面改質を行う。その後特殊な触媒を付着させ無電化銅めっきをすることで回路部を生成する。LDSと似た方法であるが、透明樹脂を含む一般樹脂を使用できることによるコストダウンが期待できる。特に1回成形法で透明樹脂に対する電極形成が可能なのは今のところSKW-L2のみである。ただし透明樹脂には超短パルスレーザーを使用することから装置のコストが高額になることが懸念される。

#### ・LPKF-LDS®

ドイツLPKF Laser & Electronicsが開発したLaser Direct Structuringの略称。有機金属化合物を含むプラスチック材料に対し、回路パターンを生成したい箇所にレーザーを照射する。レーザーは材料内の有機金属化合物を活性化し、レーザーをかけた領域のみに無電解めっき工程で回路パターンが生成される。工程は最も少なく触媒工程も必要ないところが特長。使用できる材料は90種類以上あり他工法よりも材料選択の自由度は高いが材料コストは高めである。

3Dプリンタで作成した筐体にLDS用の塗料を塗ることで試作ができるLDS Prototypingや、金属筐体上への静電塗装+LDSによる放熱基板、新樹脂グレードの開発、

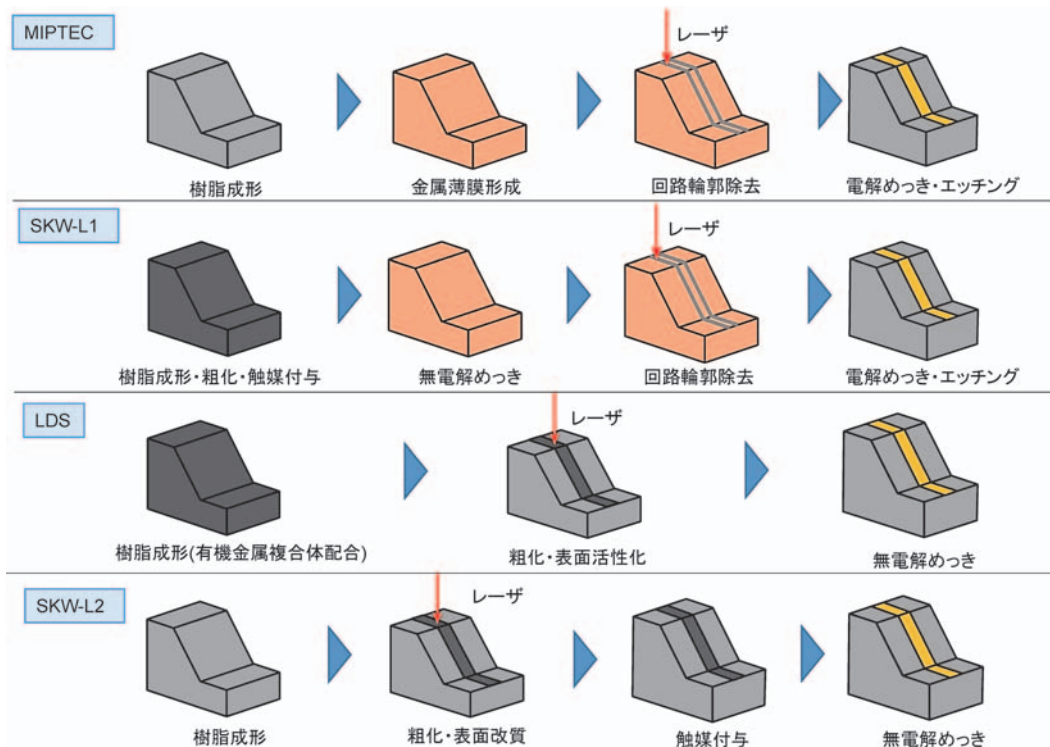


図2 1回成形法のプロセス (日本MID協会)

熱硬化性樹脂材料の検討など新規開発に対する意欲が高い。

### 3.1.2 2回成形法

2回成形法はめっきの付く樹脂とめっきの付かない樹脂で2色成形を行う手法。MID黎明期からの主要工法であり大量生産品に向く。またレーザー照射の制約がないため、筐体形状の自由度が高い。その一方で回路パターン幅はファインピッチ化するのに難があり、最少パターンでも150um程度であるとされる。回路の変更時にも金型調整が必要となるため、開発にかかる負担は大きいといえる。図3に2回成形法の代表的な工程を示し解説する。(図3)

#### ・PCK

一次成形側の樹脂に触媒入りのめっき材を使用し、二次成形側に非めっき材を使用した二回成形法。非めっき材にてマスクを形成し表面处理，無電解めっきを行う。

#### ・SKW-1

三共化成が開発したSankyo Kasei Wiringプロセス。一次成形側の樹脂にめっき可能材料を使用し、二次成形側に非めっき材を使用した二回成形法。めっき材を一次成形後、エッチング、触媒付与したのち、二次成形、めっき処理を行う。エッチングアンカー効果により強固なめっき密着力を示し、実装信頼度に優れる。

#### ・SKW-2

SKW-1のMID製造プロセスを基に非めっき材(マスク材)に生分解性樹脂を用いて二次成形、触媒付与の工程後に、この二次成形材料を溶解除去し、無電解めっきパターンニングすることにより薄肉軽量化を図った工法。

#### ・SKW-3

セミアディティブ法の応用により全体に無電解シードめっきを施した成形品に二次マスク成形を行い、最終めっき後に二次成形材料を溶解除去することにより電解めっきで独立パターンが可能となり且つ薄肉軽量化を図った工法。

### 3.2 プラスチック材料

プリント基板やフレキシブル基板は基材に熱硬化性樹脂を用いているのに対し、MIDの筐体には使用されるのはほぼ熱可塑性樹脂によるものである。熱可塑性樹脂の中で耐熱性が100℃以上あり、強度や耐摩耗性に優れたプラスチックを一般にエンジニアリングプラスチック(エンプラ)と呼び、汎用プラスチックと区別している。耐熱性が更に高く150℃以上の高温でも長時間使用できるものは、スーパーエンジニアリングプラスチック(スーパーエンプラ)と呼ばれる。

MIDではその用途、使用環境において樹脂が選択されることになるが、エンプラ以上の性能を持った樹脂が使われる。スマートフォンなどに採用されるアンテナ筐体はPC、PC/ABSなどが多く、比較的耐熱が低くても問題なく使用されている。これは携帯電話の内蔵アンテナが同種の材料を用いて製造されていたことから考えられる。一方で微細配線を持つセンサーパッケージや配線部品などはLCP、PPA、PA、PEEKなど耐熱の高い樹脂が採用される。電子部品実装時のリフロー耐熱性、あるいは導電部(Cu, Ni, Au)と近い熱膨張係数が求められるからである。その他、使用可能な樹脂として、PPE、PBT、SPS、PPS、PEI、COPなどがあげられる。各MID工法によって選択できる材料グレードは異なっており、かつ特殊な配合を施されている場合もあるため、ユーザーはMIDメーカーのアドバイスを受けて材料を選択することになる。

### 4. ウェアラブル端末におけるMID

ウェアラブル端末に求められる条件はデザイン・高機能・小型・軽量であり、これらの要求を満たすため、精密射出成形・材料開発・電子回路の小型化などが求められる。このためのMID活用ということは冒頭で述べた。一方で

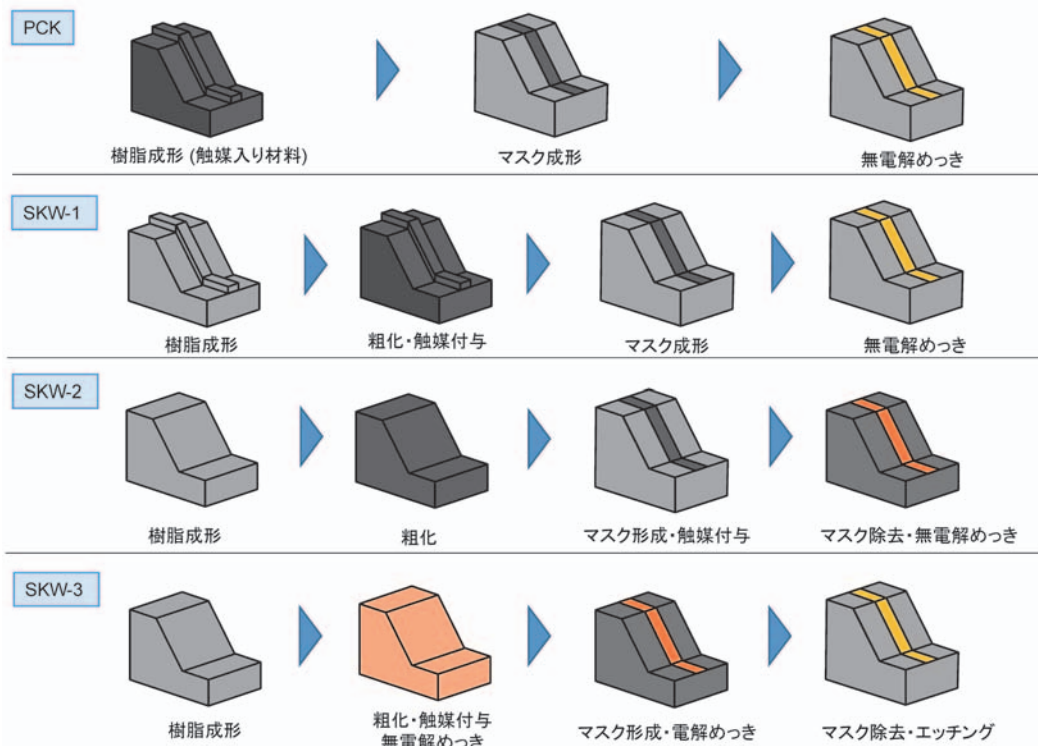


図3 2回成形法のプロセス (日本MID協会)

ウェアラブル端末はその大きさから大型のバッテリーを積むことができず省電力性能が求められる。多くのウェアラブル機器はそれ自体でも動作するがCPUやメモリの性能、表示機能については小型化したゆえの制限がある。そのため計算、統計などといった情報処理はスマートフォンとのアプリ連携で行われ、ユーザーはスマートフォンの画面で結果を確認することになる。あるいは逆にスマートフォンで設定した情報を端末で確認することができる。このためにはBluetooth®やNFCのような無線通信が不可欠であり内蔵アンテナを必要とする。

MIDをウェアラブル端末に活用するにはいくつかの方法が考えられる。現実的な可能性としてスマートフォンでの実績が多い内蔵アンテナが第一にあがる。電子回路の小型化というキーワードからはセンサ、センサ用パッケージが考えられ、また、実装を簡単にするためのMIDの使用という事例もある。これらのアプリケーションは着実に採用例が増えている。

ここから採用事例と期待される案件を紹介する。

#### 4.1 内蔵アンテナ採用例

身につけられる、という点では最新の音楽プレーヤーも広義のウェアラブル端末といえるだろう。図4で紹介する機種はメモリを内蔵した軽量のオーディオデバイスとして使用できることはもちろん、スマートフォンと連携することで通話、外部の音源を聞くことも可能である。IPX8という高い防水性能が特徴でスイミング中にも使用できる。このデバイスはスマートフォンと無線通信するためにLDSアンテナを搭載している。

図5は時計型端末のLDSアンテナ採用例である。スマートフォンとの無線通信用Bluetooth®アンテナを搭載している。



写真提供: ソニー株式会社  
LPKF Laser&Electronics

図4 防水型音楽プレーヤー LDS内蔵アンテナ採用例



写真提供: 日本モレックス合同会社

図5 時計型端末 LDS内蔵アンテナ採用例

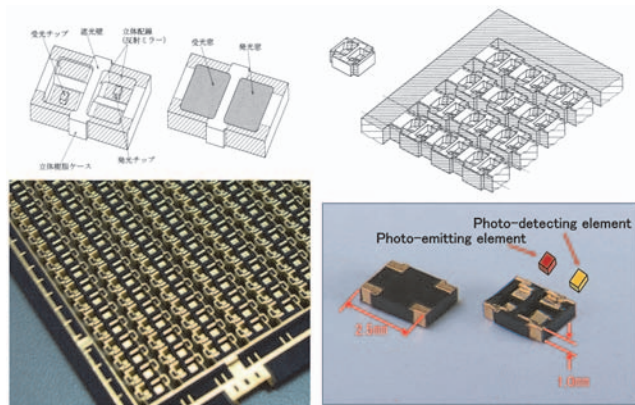
#### 4.2 フォトインターラプタパッケージ採用例

ウェアラブル端末にはジャイロセンサ、加速度センサ、圧力センサなど、人間の活動をセンシングする電子部品が組み込まれている。フォトインタラプタは、対向する発光部と受光部を持ち、発光部からの光を物体が遮るのを受光部で検出することによって、物体の有無や位置を判定するセンサである。従来法と比較すると約40%以上の小型化になり発売当時は世界最小のフォトインタラプタであった。また、めっき電極面を反射鏡として兼用することによって、光の利用効率が30%以上向上した。

パッケージ単体でのコスト比較でなく、チップ部品のマウントやワイヤボンディング、封止工程を考えた場合に、このMIDのようなパッケージの集合体(シート状)で組み立て・実装を行うことで、最終製品でのトータルコストが削減された(図6)。

#### 4.3 MID構造部品採用例

こちらはSiemens/HartingがLDS工法で作成したステレオ補聴器用部品である。マッチ棒ほどの大きさのMIDに対し3つのマイクロフォンを実装している。樹脂材料はLCPでレーザーによるビア加工がなされており、いわゆる両面基板に近い形の基板を形成している。これはフレキシブル基板でも可能であると思われるが、ユーザーからは「MIDを採用することによってマイクロフォンの実装がしやすくなった、実装後の部品のすわりが良くなった」という感想が聞けた。非常に省スペースで小型化の必要がある補聴器には複雑なフレキシブル基板と実装法が使われているが、MIDを使うことによってより実装を簡略化できる一例である(図7)。



写真提供: 三共化成株式会社

図6 フォトインタラプタパッケージ



Source: Harting / Siemens

写真提供: LPKF Laser & Electronics

図7 MID構造部品採用例

#### 4.4 チップパッケージ案

チップ積層化 (MCP: Multi-Chip Package) は複数個の IC またはパッケージを積層または横並びにすることにより、メモリの大容量化や機能の複合化を実現する高密度実装技術である。従来工法ではパッケージ封止用の熱硬化性樹脂やセラミックなどが使われることが多かったが、LCP といった樹脂によるパッケージも提案されている。センサや ASIC のパッケージを MID に実装、ワイヤボンディングなどの接続方法にて接点を取ることができる。また筐体上に bumps を形成して直接プリント基板に実装することができる (図 8)。

#### 4.5 タッチセンサ案

ウェアラブル端末のユーザーインターフェイスは旧来のボタン式ではなくタッチパネルやタッチセンサである。スマートフォンやタブレット、ノート PC などのタッチパネルはディスプレイ部に触れることで操作ができるが、ウェアラブル端末の場合、ディスプレイ部の大きさの制約があり、操作する指自体が表示を隠してしまう。

解決方法として樹脂筐体にタッチセンサが搭載することによりスイッチのオン・オフ、音量設定、機器のロックなど簡易的なボタン等も置き換わることができるかもしれない。眼鏡型端末などでは不自然な動作によるコマンド入力よりも、眼鏡の位置を直すために触れる、といった自然な行為でデバイスにコマンド入力ができる利点がある。図 9 は LDS 工法で作成されたタッチセンサのサンプル品である。左上は眼鏡型端末への応用案だが、回路だけではなく意匠性にも応用可能である。左下は樹脂曲面へのタッチセンサ搭載、右はドーム型の筐体の裏に静電容量によるタッチセンサ配線が作成されており、スマートフォンアプリ、ラジコンカーなどの操作デバイスとして使用される。

### 5. ま と め

MID はある意味古典的な手法であるが、その歴史がプリント基板の進化、低価格化に追いつけなかったこと、設計の困難さ、信頼性の問題、3D 実装の問題といった理由により、電子機器メーカーに認知されているとはまだまだいいがたい。品質やテスト方法などが標準化されていない分、ユーザーからみると取りつきにくい技術であるかもしれない。

しかし近年、レーザー装置や金型技術の向上によって製造技術自体が進化してきている。プリント基板業界の展示会である JPCA ショーでは“3D MID パビリオン”で関連技術紹介を促進しており、工法以外にも MID 設計用



図 8 チップパッケージ案



図 9 タッチセンサ案

CAD や国内実装機メーカーから 3D 実装対応機種が続々と登場していることから MID を使うためのハードルは確実に下がってきている。また、日本 MID 協会の会員も続々と増えており、セミナーや記事を書く機会も増えたことで以前より MID への関心が高まっているを感じている。本稿が自由な発想で革新的なウェアラブル端末をデザインできる一助となれば幸いである。

#### 参 考 文 献

- 1) 中川威雄, 湯本哲男, 川崎徹: 成形回路部品, シーエムシー出版, 3(1997)
- 2) Research Association 3-D MID: MID Survey 2011 Market and Technology Analysis, Research Association Molded Inter Connect Devices 3-D MID e. V. 14 (2011)
- 3) Ralf Wang “3-D-MID in China”: 11 th International Congress Molded Interconnect Devices, Research Association Molded Inter Connect Devices 3-D MID e.V., 4(2014)