

# MITSUBISHI

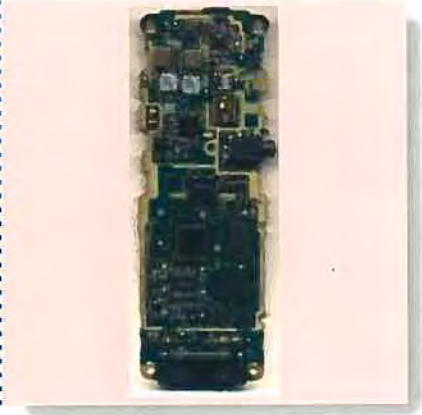
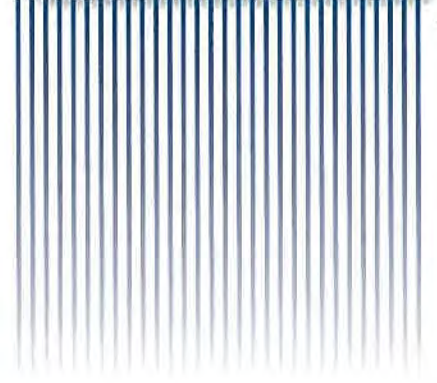
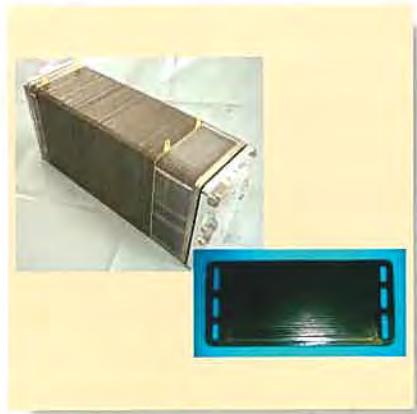
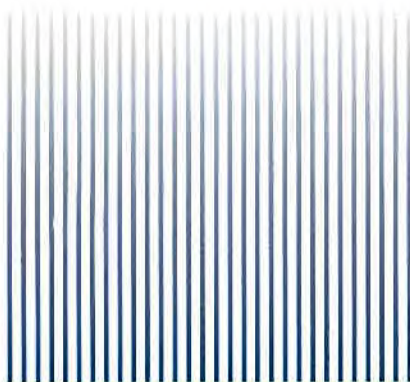
## 三菱電機技報

Vol.78 No.11

2004

# 11

特集Ⅰ「プラスチック成形技術」  
特集Ⅱ「先進モジュール実装技術」



目次

特集 I 「プラスチック成形技術」

プラスチック成形加工に思うこと ..... 1  
濱田泰以

プラスチック精密成形技術の展望 ..... 2  
馬場文明

立体LCD用両面プリズムシートの精密転写成形技術 ..... 7  
村上 治・結城昭正

携帯電話の筐体・機構部品のプラスチック成形技術 ..... 11  
齋藤浩二・藤田章洋

射出成形プロセスを用いた  
金属めっきプラスチック導波管コンポーネント ..... 15  
浅尾英喜・逸見和久・椋田宗明・山崎浩二・米田尚史

固体高分子型燃料電池用カーボン樹脂モールドセパレータ ..... 19  
三谷徹男・犬塚隆之

プラスチックマグネットの直接成形技術 ..... 23  
荒木 健・竹井夢賀子・曾根孝典

プラスチック射出成形CAE技術 ..... 27  
椋田宗明

プラスチックの自己循環マテリアルリサイクル技術 ..... 31  
高木 司・岩田修一・井関康人・松尾雄一・藤田章洋

特集 II 「先進モジュール実装技術」

次世代電子機器用の高分子材料技術への期待 ..... 35  
越智光一

先進モジュール用実装材料技術の現状と展望 ..... 36  
藤岡弘文

パワーモジュール封止技術 ..... 39  
多田和弘・中島 泰・鹿野武敏・佐々木太志

高耐压パワーモジュールパッケージの欠陥検査技術 ..... 43  
長谷川武敏・武藤浩隆

移動通信機器用はんだ接合技術 ..... 47  
前田 晃・坂本博夫・松野 繁・高田志郎・長嶺高宏

受動素子内蔵プリント配線板技術 ..... 53  
内海 茂・豊島利之

次世代光電気複合実装技術 ..... 57  
平松星紀

Plastic Molding Technology

What I think about Polymer Processing  
*Hiroyuki Hamada*

Trends in Plastic Accurate and Precise Molding Technology for Electric and Electronics Field.  
*Fumiaki Baba*

Precision Transcription by Plastic Injection Molding for the Double-sided Prism Sheet of Stereoscopic LCD  
*Osamu Murakami, Akimasa Yuuki*

Plastic Processing Technologies of Housing and Mechanical Parts for Mobile Phone  
*Koji Saito, Akihiro Fujita*

Metal-Plated Plastic Waveguide Components Using Injection-Molding Process  
*Hideki Asao, Kazuhisa Henmi, Muneaki Mukuda, Kouji Yamasaki, Naofumi Yoneda*

Molded Separators Consisted of Carbon-Resin Composites for Polymer Electrolyte Fuel Cell  
*Tetsuo Mitani, Takayuki Inuzuka*

Direct Injection Molding for Bonded Magnets  
*Takeshi Araki, Takako Takei, Takanori Sone*

Computer Aided Engineering Technologies of Plastic Injection Molding  
*Muneaki Mukuda*

Material Recycling Technologies for Closed-Loop Recycle System of Plastics  
*Tsukasa Takagi, Syuichi Iwata, Yasuto Iseki, Yuichi Matsuo, Akihiro Fujita*

Jisso Technology for Advanced Electronic Modules

Evolution in Functional Polymer Materials for Advanced Electronic Devices  
*Mitsukazu Ochi*

Survey of Activities about Jisso Materials Technology for Advanced Electronic Modules  
*Hirofumi Fujioka*

Molding Technology for Power Modules  
*Kazuhito Tada, Dai Nakajima, Takatoshi Shikano, Taishi Sasaki*

Insulation Testing Technology for Package of High-Voltage Power Module  
*Taketoshi Hasegawa, Hirohito Muto*

Solder Joint Technology for Mobile Communication Terminals  
*Akira Maeda, Hiroo Sakamoto, Shigeru Matsuno, Shiro Takada, Takahiro Nagamine*

Technology for Embedded Passives Printed Wired Board  
*Shigeru Utsumi, Toshiyuki Toyoshima*

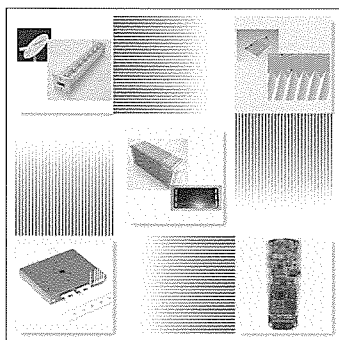
Opto/Electric Interconnection Technologies for Next Generation Packaging  
*Seiki Hiramatsu*

特許と新案

「金属一体樹脂成形法及び装置」「微小異物の位置決め方法、分析方法、これに用いる分析装置およびこれを用いた半導体素子もしくは液晶表示素子の製法」 ..... 61

「数値制御装置および曲線経路補間方法」 ..... 62

スポットライト  
ETC車載器



表紙

プラスチック成形技術

低コストで生産性に優れたプラスチック材料は三菱電機が提供する電子・電気機器にも広く使用されているが、プラスチック材料の性能を最大限に引き出し、構造部品や機能部品として精密な形状を与えて、高い品質の製品を“形作る”、そのようなプラスチック成形技術の開発に取り組んでいる。表紙写真は、その一例として通信アンテナ用のプラスチック導波管(上段左)、固体高分子型燃料電池に使用するカーボン樹脂セパレータ(中央)、及び液晶表示装置用の両面プリズムシート(上段右)を示している。

先進モジュール実装技術

電子機器モジュールは小型化・高機能化・低価格化のニーズが強く、この特集号では電子機器モジュールの組立て技術であるモジュール実装技術について紹介した。写真下段左は高熱伝導性の絶縁シートを採用した高放熱タイプ新パッケージを、写真下段右はリードレス部品、BGAを採用した高密度実装基板を示す。

## 『プラスチック成形加工に思うこと

What I thinks about Polymer Processing



濱田泰以

Hiroyuki Hamada

プラスチック部品、製品を作る際の基本は“流す、形にする、固める”である。この言葉は、プラスチック成形加工学会においてテキストを刊行する際に作られたものである。熱と力を加えプラスチックを流体にして流す。すなわち、型の中に入れる。そして所望の形にする。そして冷却して流体を固体にする。すなわち、固めるである。これらの作業をするためには、専用の機械が必要であり、もちろん材料も必要である。これらの作業中に生じる様々な現象を理解するには、高分子化学、高分子材料学、熱工学、流体力学、レオロジー、金属加工学、金属学など様々な学問の知識が必要となる。その意味では、プラスチックで何かものを作ることは総合科学である。

総合科学が必要なこの分野において、“ものづくり”の現場も“総合的”でなければならない。言い換えれば、様々な人たちのアイデアを結集していなければものは作れないということの意味している。射出成形で製品を作ることを考えてみると、製品設計に応じて金型設計を行い、これを成形できる機械の大きさは？特性を満足できる材料は？材料の価格は？さて、最適な条件は？シリンダ温度はいくらにすればいいか？金型温度は？射出速度は？サイクル時間は？などなど、多くの因子を克服し解決していかなければならない。これを一人の人間で行うのは不可能でないだろうか？もしできるとなれば、その人はスーパースターであろう。総合科学がゆえに、グループでの作業が主となるプラスチック成形加工にはスーパースターはいらない。地道に自らの専門を極めつつ、他の人の言葉に耳を傾け、強調しながら作業の川上と川下を思いやり、ものごとを進めることが必要であり、そういう人材が必要なのである。

ある中小企業の社長さんが持ち込んだ製品。3mm厚の板に直径20mmのボス長さ50mm。何ですかこの形？注文

がきた図面がこれだったんです。こりゃひけますね。そのひけを直してこいと言われていています。これがまた直すことができればすごいものだと思う。製品設計した人は、射出成形、プラスチックを知っているのだろうか？ものづくりを知らないで製品設計を行うと、川下では苦しみが残ってしまうことになる。協調性が必要なのか？しかしものづくりに足を引っぱられて新規な製品を設計できないこともあるのかもしれない。

ものづくりは、日本にある方がいい。ものづくりがもたらした繁栄を享受してきたのであるから、今再び、ものづくりのために、何かを。複合がキーワードと考える。材料の複合化、評価の複合化、成形の複合化、一つの材料で達し得なかった特性を材料の複合化で得ることができる。評価の複合化とは、その製品の物性に加え、長期使用時の評価、さらに川上に上り、人の感性から見た評価も必要であろう。そうすれば人にやさしい、使いやすい、長持ちする製品が誕生する。さて、成形の複合化はどのようなものか？機能のある製品を作り出すためには、一工程で二つ以上の成形を組み合わせればどうだろうという発想である。サンドイッチ成形、フィルムインサート成形、ガスアシスト成形、ウォーターアシスト成形、などなど、組合せはたくさんある。成形方法を組み合わせれば必然的に考慮しなければならない成形パラメータは単純に二倍になる。成形に際して今まで以上の配慮、心配りが、気配りが必要である。これらのことが日本にもものづくりを残す要因となり得ないだろうか？どうにか“ふんばれ”ないだろうか？

やはり最後は人なのだろう。協調性があり、気配りができる人がプラスチック成形加工をリードし、引っ張っていくのであろう。自分はどうかと問い直すことにする。



馬場文明\*

# プラスチック精密成形技術の展望

Trends in Plastic Accurate and Precise Molding Technology for Electric and Electronics Field.

Fumiaki Baba

## 要旨

電子・電気機器のIT(Information Technology)化やマルチメディア化に伴い、機器に使用されるプラスチック成形品に対する性能・機能が多様化し、従来の構造用途や機構用途に加えて、光学デバイスや電子デバイスの機能付与が実用化されつつある。

プラスチック成形品に要求される精度(公差/成形品サイズ)は、従来0.01%が限界とされてきたが、最近では0.001%級の精度が要求され、材料、金型、成形機、計測評価機器などのハードウェア技術、及び設計、シミュレーション、成形プロセスなどのソフトウェア技術が急速に進展しつつある。

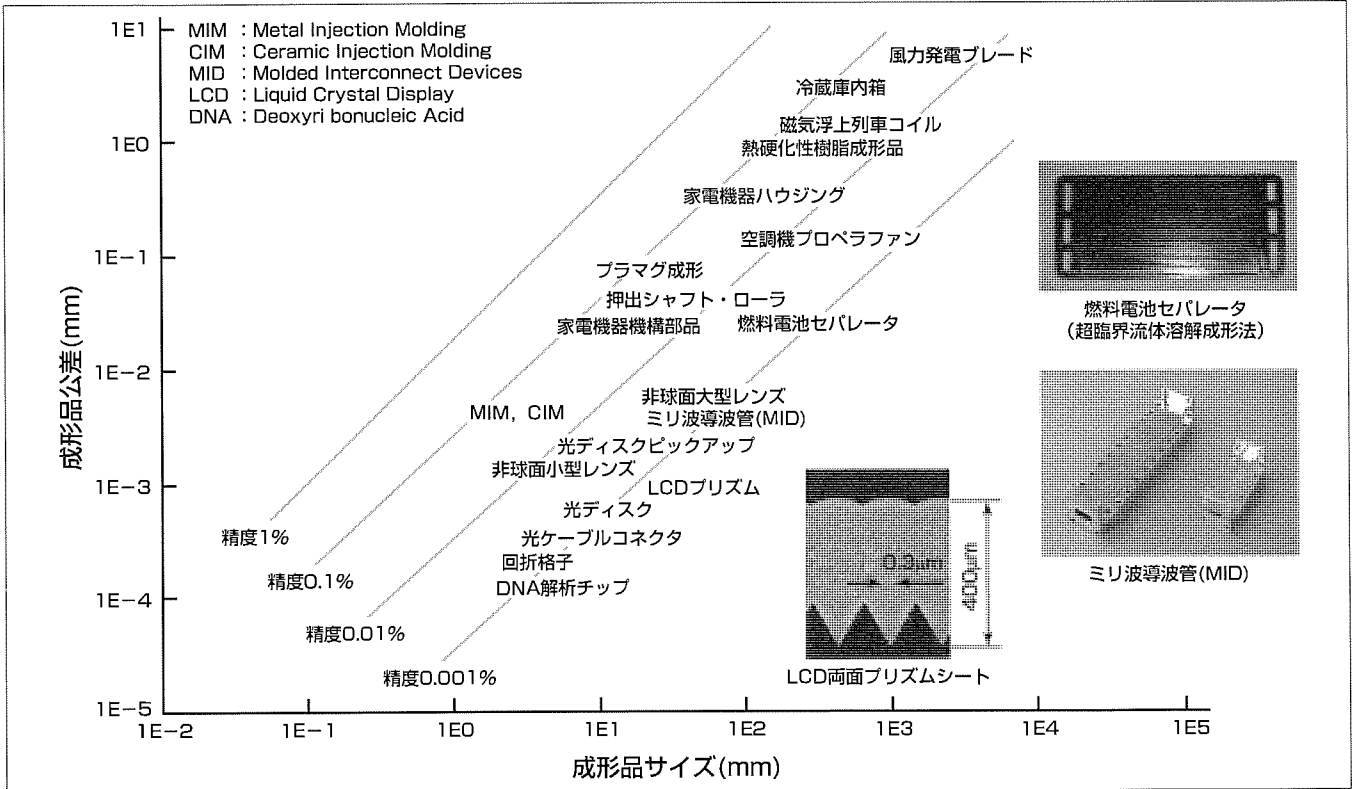
プラスチック精密成形を実現するためには、プラスチック材料の本質を十分に把握して取り組む必要がある。プラスチックの成形加工は、比容積が大きく変化する相変化を

伴い、成形収縮を起こす。このため、加工圧力を大きくして体積変化を低減しているが、加工圧力には限界がある。また、材料の粘弾性は、流動挙動に大きな影響を与え、成形品特性は分子配向などにより異方性を示す。マイクロナノ成形では、熱膨張係数も無視できなくなる。

半導体製造プロセスの金型製作への導入、動的制御を可能とする成形機の開発、非定常・非線形三次元CAE(Computer Aided Engineering)の高度化、ナノレベルの計測評価技術など、精密成形の実現には、先進技術の統合化が不可欠となる。

今後、光機能デバイスやMEMS(Micro Electro Mechanical Systems)デバイスの発展とともに、コストパフォーマンスに優れたプラスチック成形技術の高精密・高精度化が期待されている。

特集 I



## プラスチック成形品の高精密・高精度化

成形品の精度(公差/成形品サイズ)向上が進み、2000年代には0.01~0.001%の高精度が要求されている。光応用技術、高周波技術、新エネルギー技術など新しいニーズが技術革新の原動力となり、プラスチック材料、成形機、金型(金型加工機)、計測評価装置などハードウェア技術、3D-CAD/CAE/CAMによる成形品設計・金型設計技術などのソフトウェア技術が大きく進展した。今後は、材料リサイクルや省エネルギー成形などの環境問題への対応とともに、半導体デバイス製造プロセスの導入などにより、センサや生化学など新分野への展開が期待される。

## 1. ま え が き

CD(Compact Disk), DVD(Digital Versatile Disk)などの光ディスクや携帯電話の普及によるマルチメディア化, IT化により, 電子・電気機器に使用されるプラスチックの成形品や部品の高精密・高精度化が急速に進み, 構造用途や機構用途における精密化に加えて, レンズ, プリズムなどの光学デバイスのプラスチック化, MIDに代表される電子デバイス機能の付与などが急速に進展している。

形状が微細な精密成形品では, 最大寸法が10mm以下の占める比率が大きくなり, 最大寸法1mm以下のマイクロ成形品の開発も進んでいる。プラスチック成形品に要求される精度(公差/成形品サイズ)は, 従来0.01%が限界とされてきたが, 最近では0.001%級の精度が要求されている。

本稿では, プラスチック精密成形の現状における課題と将来の展開について述べる。

## 2. プラスチック精密成形の現状と課題

電子・電気機器に使用されるプラスチック成形品の精度を表1に示す。プラスチックの適用は, 配電機器の絶縁部材や家電製品の構造部材から開始され, 精度は0.1~1.0%の範囲内であった。1970年代に入りエンジニアリングプラスチックの開発が本格化し, ガラス繊維や炭素繊維との複合化技術の進展により, 成形品精度は0.03~0.05%まで向上した。1980年代に入ると, 液晶ポリマなどのスーパーエンジニアリングプラスチックの開発や射出圧縮法などの成形プロセスの開発により, 0.01%級の成形品精度が実現されている。

プラスチック精密成形の実現には, 材料開発とともにプロセス開発が重要となる。携帯電話や各種センサでは, 高密度実装を実現するため小型化(miniaturization)が進展し, プラスチック成形品上に三次元で電気回路を形成し, プラスチック成形品をデバイス化したMIDが本格的な普及期を迎えている。

微細な製造プロセスの集積である半導体の製造プロセスのプラスチック成形への導入も, マイクロ・ナノ加工として, LIGA(Lithographie, Galvanoformung, Abform-

technik)プロセス等の導入検討が本格的に開始されている。

今後も, 大型平面テレビやプロジェクタスクリーンなどの大型成形品の高精度加工, 新規光学デバイス, MEMS, マイクロリアクタなどを実現する高精密・高精度化に対するプラスチック技術への期待は大きい。

### 2.1 プラスチックの材料特性

プラスチック精密成形を実現するためには, プラスチック材料が本質的に持つ特性(表2)を十分に理解して取り組む必要がある。プラスチックの成形加工は, 比容積が大きく変化する相変化を伴い, 成形収縮を起こす。特に結晶性プラスチックでは, 結晶化に伴い, 大きな比容積変化を示す。このため, 成形(加工)圧力を大きくして体積変化量を低減しているが, 加工圧力には限界がある。加工圧力を大きくすると成形品の残留ひずみが増加し, 経時的なひずみ解放により, 成形品形状が変化する場合がある。

プラスチック材料固有の粘弾性特性は, 材料の流動挙動に大きな影響を与え, 成形品特性は分子配向による異方性を示す。光学特性が要求される場合には, 残留ひずみや分子配向が複屈折等の原因になり, 光学特性を低下させる大きな要因となる。マイクロ・ナノ成形では, プラスチックの熱膨張による形状変化も無視できなくなる。

精密成形の実現では, 材料組成も重要である。成形中の材料分解によるガスの発生や添加剤のブリードアウト(表面浸出)は, 金型転写性を低下させる。物性を改良するために繊維状強化材やフィラーを充填(じゅうてん)するが, これらは, 成形品精度に大きな影響を与える。ガラス繊維や炭素繊維などの繊維状強化材の充填は, 材料の機械的特性を向上させ線膨張係数を低減するが, 繊維の配向により成形品は異方性を示し, 表面粗度は繊維の浮き上がりにより大きくなる。

プラスチックの吸湿(水)性も, 精度と密接に関係する。吸湿率の大きなプラスチック材料では, 吸湿により大きな形状変化や物性変化を示し, 形状精度を大きく低下させる。

### 2.2 金型加工・金型制御

精密成形の実現では, 金型製作が非常に重要となる。金型加工の精度を高めるとともに, 成形時の金型変形を防止する構造設計, 成形品の反り・ひげ発生を防ぐ冷却設計, 繊維やフィラー充填材による摩耗に対応した金型材料の選

表1. 電子・電気機器プラスチック成形品の精度

| 精度<br>(公差/サイズ)        | 成形品<br>( )内記述以外は射出成形   |
|-----------------------|--|
| 一般<br>(~0.1%)         | 家電機器ハウジング, 冷蔵庫内箱(熱成形), 各種タンク(ブロー成形)                          |
| 高精度<br>(0.1~0.05%)    | 家電機器機構部品, IT機械シャーシ, CD, ディスク(除くピット), CD・DVDメカシャーシ, 燃料電池セパレータ |
| 超高精度<br>(0.05~0.001%) | 非球面レンズ, レーザプリンター用コリメータレンズ, エンコーダディスク, 光ファイバフェルル, ミリ波導波管      |

表2. プラスチック精密成形に関連する材料特性

|               |
|---------------|
| 比容積変化(液相⇄固相)  |
| 粘弾性特性         |
| 非ニュートン性(液相)   |
| 熱膨張特性(係数)     |
| 分解温度(溶融時)     |
| 吸湿(水)性        |
| 添加剤(分解性, 相溶性) |
| 充填材(量, 形状)    |

定等に対して、十分に注意を払う必要がある。

成形品の開発期間を短縮する高速金型加工も非常に重要となっている。金型加工機で代表的なワイヤ放電加工機では、高出力加工液回路、ワイヤ制御の最適化、高ピーク加工電源の開発により、従来の1.5倍の500mm<sup>2</sup>/minの加工速度、板厚300mmの厚板加工で4倍の加工速度を実現している<sup>(1)</sup>。

3D-CAD(Computer Aided Design)/CAM(Computer Aided Manufacturing)を連成し、高速マシニングセンタを活用した直彫りも急速に普及し、金型製作時間を短縮している。加工回転数が1~10万回転の高速回転マシンの普及とともに、対応した微細工具、工具材料、高切削性金型材料の開発も進んでいる。

精密部品では、金型表面精度を向上させるために、従来の金属加工法に加えて、電鑄(Electroforming)や半導体デバイスの製造プロセスが適用されている。

プラスチックの成形加工では、成形品サイズが数mから1mm以下まで幅広く、さらに、局部的には成形品サイズの一万分の一(10<sup>-5</sup>)の精度が要求される。大画面テレビや大型の映像表示装置では、数mサイズで表面に1μmレベルの微細形状の形成が必要となる。従来の金型製法ではサイズと精度の両立が困難であり、新しい金型製法の開発が待たれている。

プラスチック成形プロセスの過程で、金型をアクティブに制御して成形品転写精度を改良する取り組みも、表3に示すように、数多く研究されている。いずれの方法も、金型内に樹脂が流動中は、金型温度を高温に保持し、流動停止とともに冷却することにより、金型転写性を向上させ、残留ひずみを低減させる効果がある。

### 2.3 射出成形機

電子・電気機器のプラスチック成形加工では射出成形機が多用されているが、最近では、成形機の駆動をモータで行う電動射出成形機が本格的に普及し、精密成形の実現に大きく貢献している。従来の油圧駆動では油量制御バルブの応答安定性、制御安定性、温度変化に伴う作動油の粘度変化等が成形ばらつきの要因であったが、電動駆動では、サーボモータの適用により完全クローズド制御が可能となり、これらのばらつきが大幅に減少した。モータを必要時のみ駆動することから、省エネルギーであり、作動油を使用しないためオイルミスト飛散がないなどのメリットもある。電動成形機の弱点は大型機への展開が困難なことにあ

ったが、最近では、型締圧1,400tの大型電動射出成形機が上市されている。

### 2.4 射出成形プロセス

精密成形を実現するために表4に示すような射出成形法が開発され、成形品精度の向上に大きく貢献している。

いずれの方法も、金型内における樹脂の流動を制御し、一般の射出成形に比較して低圧成形が可能で、金型転写性向上と残留ひずみ低減に大きな効果を示す。

表3に示した金型内の高品位転写技術と合わせて、精密成形の実現に大きく貢献している。

### 2.5 計測評価技術

プラスチック精密成形の実現では、計測評価技術の開発も重要である。三次元形状評価において、観察体サイズと分解能の比率の向上が望まれる。分析で適用されている顕微鏡技術では、局所的な形状評価は可能であるが、観察サイズに制限がある。また、一般に、高分解能の分析(計測)機器は、真空中において電子線などの高エネルギービームを使用するため、プラスチック成形品では、真空系の汚染やビームによるサンプルダメージが問題となる。大気中で大面積サンプルが測定可能な分解能に優れた計測技術が重要となる。

図1は、レーザプローブを用いた非接触三次元測定装置による成形品ひけの観察例を示す。レーザプローブのオートフォーカスシステムを用いた非接触三次元測定装置は、(X)150×(Y)150×(Z)10(mm)の体積を、10nm(X, Y), 1nm(Z)の精度で、色、反射率、傾斜、エッジの影響を受けずに測定可能である。サンプルの状態調節と測定環境を管理することにより、大気中で高精度な測定が実現できる。

成形品の構造評価では、大型マイクローム(図2)を用いた薄片作製技術が適用されつつある。図3は、炭素繊維を充填した液晶ポリマを用いて射出成形した厚さ1mmの平板試験片(55mm×70mm)を、約0.1mmごとにスライスして測定した板厚方向の弾性率分布を示す。試験片は、板厚

表4. 精密射出成形プロセス

|  |
|--|
| 射出圧縮成形   |
| 射出プレス成形  |
| IPM(Injection Press Molding)法                        |
| SCORIM(Shear Controlled Oriented Injection Molding)法 |

表3. 金型内表面転写技術

|           |
|-----------|
| サイクル加熱冷却法 |
| 金型表面瞬間加熱法 |
| 金型表面断熱法   |
| 超音波加振成形法  |

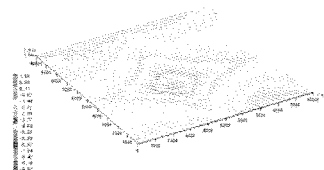


図1. 非接触三次元測定結果 十字リブ背面(10mm×10mm)



方向に異なる弾性率を持ち、弾性率分布は試験片切り出し方向により異なる。この相違は各スライスサンプルにおける炭素繊維の配向分布と良好な一致を示し、精密成形の実現には、成形品の高次構造制御が重要であることを示している<sup>(2)</sup>。

このように、新しい計測評価技術の開発は、精密成形の実現に大きく寄与する。

### 2.6 CAD/CAEの適用

3D-CADとCAEの連成により、プラスチックの設計・成形加工におけるシミュレーション技術の高度化が急速に進んでいる。図4に示すように3D-CADの設計データを

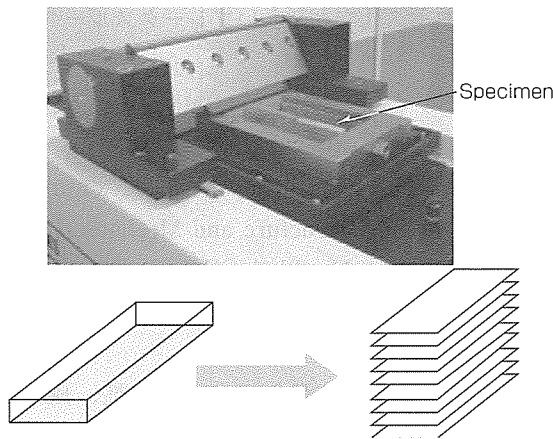
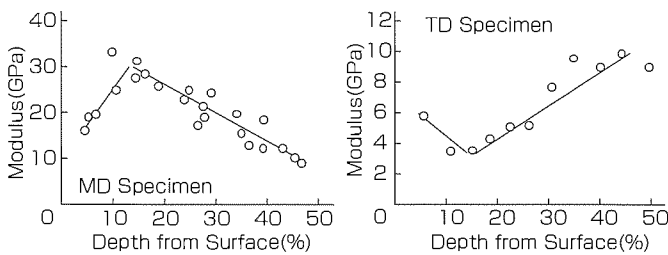


図2. 成形品スライス用大型マイクロトーム



(1mmt, サイドゲート, 表面0%, 板厚 中央50%, MD: 樹脂流動方向, TD: MDと直角方向)

図3. 炭素繊維強化液晶ポリマー成形品の弾性率分布

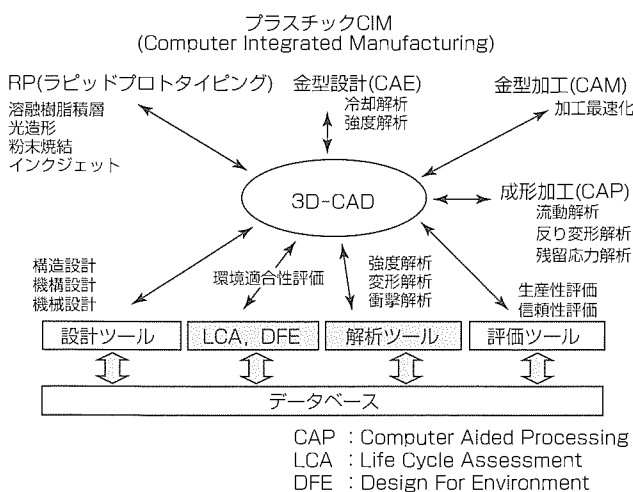


図4. プラスチック成形品の設計・製造環境

CAEに取り組み、三次元の金型内流動解析、反り変形解析、強度解析、金型温度解析、金型強度解析など一連の解析が可能となり、成形品精度に与える各種パラメータに対して品質工学を適用して解析することにより、試作回数と開発期間の大幅な低減が可能となりつつある。

### 3. 精密成形実現への取り組み

最近の開発事例をベースに、精密成形実現への取り組みについて紹介する。

#### 3.1 ガス、超臨界流体の適用

成形圧力を抑え形状精度を実現する加工プロセスとして、ガス注入成形法や超臨界流体溶解成形法の適用が本格化している。ガス注入成形法は、金型内の溶融体にガスを注入し、プラスチックの相変化に伴う体積収縮を注入ガス圧で補填し、金型転写性を向上させる。ガス注入成形法は、特に大型成形品のひけ、反りの防止や金型表面転写性の向上に有効であり、パッケージエアコンのハウジング(図5)や大型テレビのキャビネットに適用されている。

超臨界流体溶解成形法は、二酸化炭素や窒素を超臨界状態で溶融樹脂に溶解させ、超臨界流体の液体並みの高密度、気体並みの拡散性、低粘度といった特徴を活用し、低圧金型充填、微細発泡成形により、薄肉成形や低収縮成形を実現している。プラスチックに二酸化炭素が溶解すると可塑化効果によりガラス転移温度(Tg)、粘度、表面張力が低下する現象や、常温常圧で気体である特性を活用している<sup>(3)</sup>。

超臨界流体溶解成形法は、薄肉大型成形品の成形に最適であり、燃料電池セパレータ(図6)やLSIトレイなどのファイラーが高充填された難流動性プラスチックの薄肉成形への研究開発が行われている。

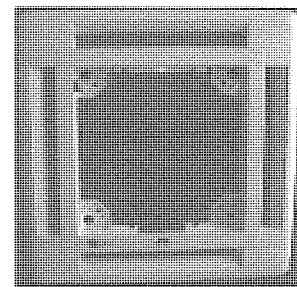


図5. パッケージエアコンハウジング(ガス注入射出成形法)

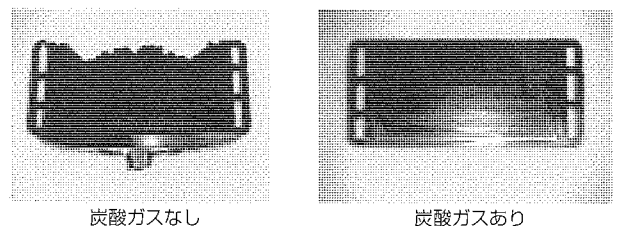


図6. 燃料電池セパレータ(超臨界流体溶解成形法)

3.2 MID技術

MIDは、プラスチック成形品上に三次元で電気回路を形成しプラスチック成形品をデバイス化する技術であり、携帯電話の内部アンテナ<sup>(4)</sup>やミリ波導波管(図7)<sup>(5)</sup>の新しい製造方法である。ミリ波導波管の成形では、電動射出成形機、CAE適用金型設計技術、フィラー充填液晶ポリマ材料の開発により、約50mmの成形品で成形精度0.01%を実現した。

MIDは、プラスチック成形加工の優れた生産性と低コスト性に加え、形状精度の安定性、低比誘電率、低誘電損失プラスチックによる高周波低損失デバイス実現などの付加価値付与が可能で、情報通信機器の新しい実装技術として期待される。

3.3 マイクロ・ナノモールディング

情報通信分野や医療分野で使用する微細で精密な機械部品、センサ、トランスデューサなどを低価格で大量生産する技術として、マイクロ・ナノプラスチックモールディングが注目されている。

射出成形の適用では、マイクロ・ナノモールディングに対応したモールドシステムが開発されている。IKV (Institut für Kunststoffverarbeitung)では、射出容量0.1~0.5gで最大偏差0.1~0.5μgを実現するプランジャ径9mmの装置を開発している<sup>(6)</sup>。また、プランジャ径8mmの専用射出成形機で成形品質量3.3mgの試作では、1ショット質量が0.1983gと小さく、成形品質量は全質量の1.7%と低い。この成形機では、市販のプラスチックペレット(原料)を使用するために、熔融プロセスと射出プロセスを分離している<sup>(7)</sup>。

プラスチックのマイクロ・ナノモールディングは、生産性とコストパフォーマンスに優れるため、マイクロシステムからの要求にこたえる技術開発が期待される。

4. む す び

プラスチックの精密成形は電子・電気機器の発展に貢献

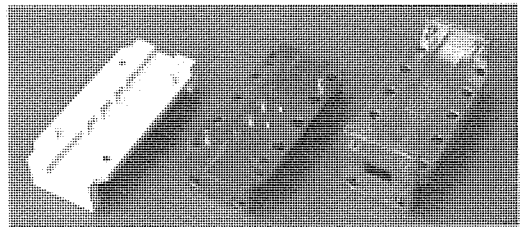


図7. ミリ波導波管(左:成形品, 中:めっき品, 右:組立て品)

してきたが、今後は、リサイクル材活用、省エネルギー成形などの環境課題に対応しながら、高精密・高精度で付加価値の高い成形品の実現が求められている。このためには、金属やセラミックなど他の材料とのハイブリッド化、成形加工の複合プロセス化など新しいブレークスルーへの挑戦が必要である。

参考文献

- (1) <http://www.diax-net.com/japanese/index.html>
- (2) Baba, F., et al.: Structure and Mechanical Properties of Injection Moulded CF/LCP Thin Plates, *Polymers & Polymer Composites*, **12**, No.3, 207~220 (2004)
- (3) 大嶋正裕: 超臨界流体とポリマー物性, 成形加工, **15**, No.6, 372~376 (2003)
- (4) Baba, F., et al.: MID Antenna and New Plastic Shield Shell for Handheld Cellular Phones, 2nd Int. Congress of Molded Interconnect Devices, 99~105 (1996)
- (5) Mukuda, M., et al.: Adjustment free MID Waveguide for Ka-Band, 5th Int. Congress of Molded Interconnect Devices, 255~262 (2002)
- (6) Michaeli, W., et al.: Moulding in miniature, *Eur. Plast. News*, **23**, No.4, 45 (1996)
- (7) 山極佳年: マイクロ射出成形加工, 成形加工, **15**, No.4, 257~259 (2003)



# 立体LCD用両面プリズムシートの精密転写成形技術

村上 治\*  
結城昭正\*\*

*Precision Transcription by Plastic Injection Molding for the Double-sided Prism Sheet of Stereoscopic LCD*  
Osamu Murakami, Akimasa Yuuki

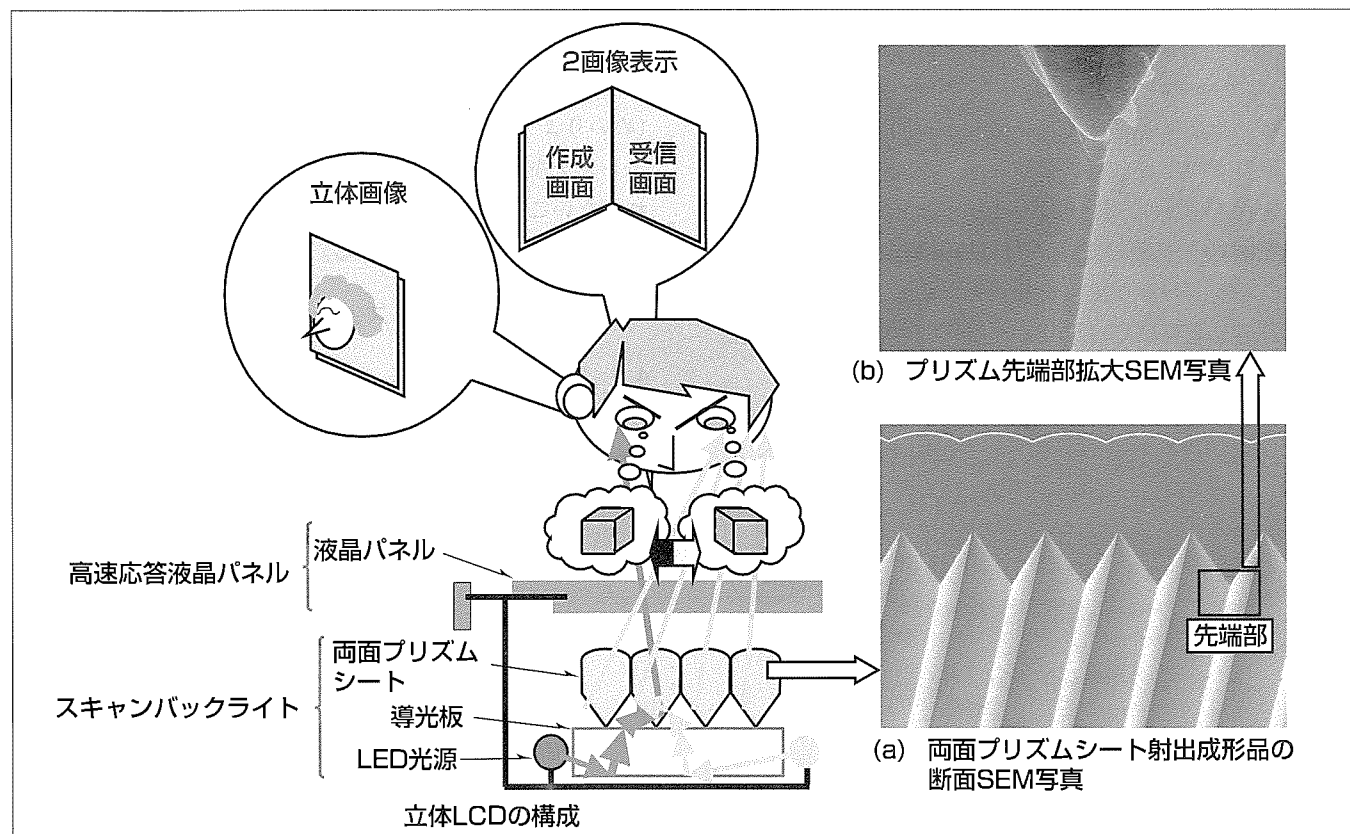
## 要 旨

小型液晶ディスプレイ (Liquid Crystal Display : LCD) の臨場感を高めるために、裸眼立体表示機能への期待が高まっている。三菱電機では、視差画像の書換えと照明方向の切換えを組み合わせたスキャンバックライト方式の立体LCDの開発を進めている。スキャンバックライト方式には、LED (Light Emitting Diode) 光源から発せられ導光板を通過した光を左右眼の光に分離させる両面プリズムシートが新たに必要となる。両面プリズムシートは、裏面に導光板からの光を内面で全反射させる三角形のプリズムと、表面には反射光を集光させるレンチキュラーレンズが形成される。立体画像を鮮明に高精細に表示するためには、プリズム及びレンズ形状を微細に、シート板厚を薄肉にする必要があり、高精度転写と薄肉を両立させる精密成形技術

が求められる。

両面プリズムシートの成形プロセスとして、薄肉流動性を実現する高流動性樹脂材料、及び高速射出充填 (じゅうてん) と金型圧縮による射出成形プロセスを確立することにより、板厚0.4mmのシート表裏面に微細なプリズムとレンチキュラーレンズを高精度に転写した両面プリズムシートを開発した。樹脂の充填が困難とされるプリズム先端は、ほぼ末端まで充填されていることをSEM (Scanning Electron Microscope) 観察により確認した。

射出成形により作製した両面プリズムシートは、光学特性評価の結果、左右方向へ光が分離放射していることを確認した。また、高速液晶パネルによる画像評価の結果、鮮明な視差画像による良好な立体画像表示を実現した。



## 立体LCDの構造と光を左右に分離する両面プリズムシート

スキャンバックライト方式立体LCDの構成図である。この中で両面プリズムシートは、光を左右眼に分離する重要な働きをする。精密射出成形技術の開発により、微細なレンチキュラーとプリズムパターンを高精度に転写した両面プリズムシートを実現した。(a)は両面プリズムシートの断面、(b)はプリズム先端の拡大写真であり、先端まで樹脂が均一に充填されていることを確認した。

## 1. ま え が き

携帯電話機などに用いられる小型LCDは高性能化が進み、高精細化や色再現性向上に加え、最近では、臨場感を高めるための立体表示機能への期待が高まっている。人間が物体を立体的に感じるための要因としては、両眼視差、輻輳(ふくそう)、焦点調節、運動視差などが挙げられる<sup>(1)</sup>。当社では、精細度の高い立体画像を実現するために、左右の視差画像の高速書換えと照明方向の切換えを組み合わせたスキャンバックライト方式立体LCDの開発を進めている<sup>(2)</sup>。スキャンバックライトは、照明方向を右目/左目の2方向に分けるために、新規な光学部材である両面プリズムシートを組み込んでいる。この両面プリズムシートは、レンチキュラーレンズとTIR(Total Internal Reflection)プリズムをそれぞれ上下面に設けた透明シートであり、形状精度が画像表示品位に大きく影響するため、高精度な成形技術が求められる。

本稿では、両面プリズムシートの微細パターンを高精度に形成する精密射出成形プロセスについて述べる。

## 2. スキャンバックライト方式立体LCDの原理

スキャンバックライト方式立体LCDの原理を図1に示す。バックライトユニットは、LED、導光板、両面プリズムシートで構成される。導光板の左右端に配置されたLED光源からそれぞれ発せられた光は、導光板上の両面プリズムシートにより正面よりやや左方向と右方向に分離され、観察者の左目と右目を照らす。液晶パネルに左目用の視差画像を表示しているときに左のLEDを点灯し、右目用視差画像を表示しているときに右側のLEDを点灯することにより、特別な眼鏡を使用しなくても視差画像をそれぞれ対応した目にだけ見せることができる。左右の視差

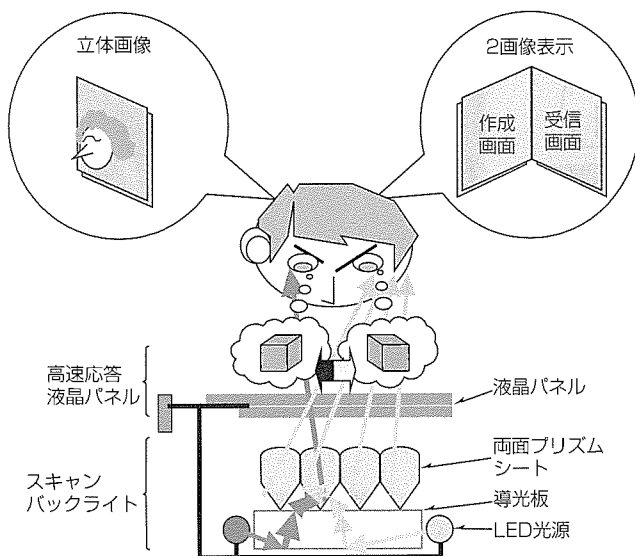


図1. スキャンバックライト方式の原理

画像の書換えと、これと同期した左右のLEDの点滅を高速(例えば120Hz)で行うと、二つの画像がともに連続して表示されているように感じられる。そして、人間の脳の中では左目画像と右目画像が合成され、立体画像と認識される。

また、ここで左目用と右目用の視差画像の代わりに全く異なる画像を表示すると、方向により2画像を同時表示することも可能となる。さらに、視差画像の代わりに同じ画像を表示することにより、通常の平面表示も可能となる。すなわち、この方式で立体画像、2画面画像、通常平面画像の3タイプの表示が可能となる。

## 3. 両面プリズムシートの機能コンセプト

両面プリズムシートの断面を図2に示す。下面側に形成された三角柱状のTIRプリズムに正対して上面に円柱状のレンチキュラーレンズが位置し、レンチキュラーレンズの焦点はTIRプリズムの頂点にくるよう設計されている。

左側のLEDから出射した光は、導光板に入射し、上下の面で反射を繰り返しながら導光板中を伝搬し、臨界角を超えた光が低い角度で導光板から出射される。この光は両面プリズムシート下面に形成されたTIRプリズムの斜面(A)に入射し、もう一方の斜面(B)で全反射されて上面方向に向かい、レンチキュラーレンズにより正面方向から左寄り(C)に集光される。右側のLEDから出た光も、同様の経路を経て、正面から右側に集光される。このとき、TIRプリズムの頂点が左右の放射領域の境界となるため、明瞭(めいりょう)な放射境界を正面方向に実現するためには、①レンチキュラーレンズとTIRプリズムに相対的な位置ずれがないことと、②転写性の良い鋭いTIRプリズム頂角を形成することが必要とされる。

## 4. 両面プリズムシートの成形技術

### 4.1 射出成形プロセス

薄肉シートに微細パターンを成形する方法としては、紫外線硬化樹脂を用いたロール成形法や、マイクロ・ナノ加

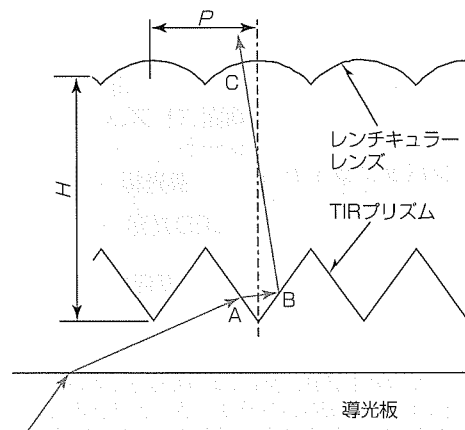


図2. 両面プリズムシートの断面形状と光路

工として注目を浴びつつあるホットエンボッシング法等のプロセスが考えられる。ここでは、両面プリズムシートの成形方法として、TIRプリズムとレンチキュラーの位置を金型で高精度に決めることが可能であり、生産性に優れた射出成形法を選定した。

金型は、Ni-Pめっき層を形成したブロックに対し、ダイヤモンドバイトを用いた切削加工によりTIRプリズム及びレンチキュラー用のV溝並びに円弧状の微細パターンを形成した。さらに、同時加工した外枠に両ブロックを納めて金型を組み立てることにより、TIRプリズムとレンチキュラーの位置精度を確保した。

#### 4.2 高転写成形プロセス

射出成形による微細形状の転写性メカニズムは、金型内に到達した樹脂の金型表面近傍での熔融状態と変形挙動で支配され、樹脂特性を考慮した成形条件の設定が重要である。材料特性には、薄肉流動性とプリズムのV溝先端まで樹脂が到達する低粘度の材料が要求される。図3に、射出成形可能な各種光学材料について、せん断速度と粘度の比較を示す。今回採用した材料は、高速せん断領域での粘度が約30Pa・sであり、他の一般的な材料の約1/2と低く、流動性に優れている。この材料に対し、金型から取り出すときの微細パターンによる離型抵抗を小さくするために、最適な離型剤処方を行い変形なく取り出すことが可能な材料を開発した。

表1に、射出成形時の充填速度とTIRプリズム転写性の関係を示す。充填速度が高速であるほど転写性は向上しており、充填速度が600mm/sでは転写率は96.2%であるが、1,200mm/s以上では98%以上の高い転写性を実現した。ま

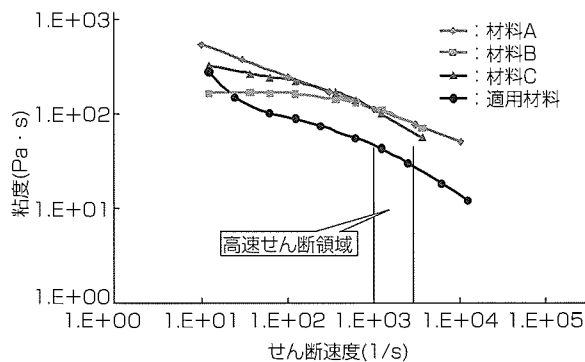
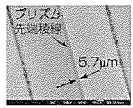
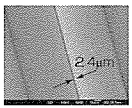
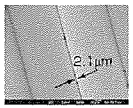
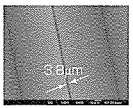


図3. 樹脂の粘度特性比較

表1. 充填速度と金型圧縮による転写性の変化

| 充填速度(mm/s)                      | 600   | 1,200   | 2,000   | 600   |
|---------------------------------|---|---|---|---|
| 金型圧縮                            | なし  | なし  | なし  | あり  |
| TIRプリズム形状写真(プリズムを真上から観察したSEM写真) |  |  |  |  |
| 転写率(%)                          | 96.2  | 98.4  | 98.6  | 97.8  |

転写率(%) = 先端稜線幅/ピッチ × 100

た、金型を低圧型締め状態で樹脂を高速充填し、充填直後に高圧型締めを行う射出圧縮成形法を行った結果、充填速度600mm/sの成形品では、転写率97.8%まで向上した。

TIRプリズム先端まで樹脂を充填させるためには、成形機のノズルから射出された熔融樹脂がV溝先端まで到達する間の冷却固化を抑制する必要がある。流動中の樹脂は、金型壁面に接触する表面側から冷却固化が進む。したがって、高速充填による転写性の向上は、V溝先端での冷却固化時間の相対的遅延と、樹脂の流動に伴うせん断発熱による冷却の遅延が作用していると考えられる。さらに、V溝先端部の樹脂の冷却固化が完了するまでに金型による圧縮が行われるため、V溝先端部の樹脂が圧縮変形し転写率が効果的に向上している。

また、金型圧縮はシート面内の板厚の均一化とひずみ低減の効果があり、両面プリズムシートのような光学部品には最適な成形方法であると考えられる。

### 5. 両面プリズムシートの性能

#### 5.1 形状精度

高速充填と射出圧縮により試作した2.2インチサイズ、厚さ0.4mmの両面プリズムシートのSEM観察による断面写真を図4に示す。シート断面はプリズム及びレンチキュラーともに設計どおりの形状精度を達成した。特にプリズム先端部は、シート全体均一に末端まで樹脂が充填され、先端部の稜線(りょうせん)幅が2μm以下の高い転写を実現した。プリズムとレンチキュラーの位置精度は、図5に示す断面観察写真から、3μm以下を確認し、ずれの小さいシートを得ることができた。

#### 5.2 光学性能

図6に、射出成形法で作製した両面プリズムシートを組み込んだスキャンバックライトの配光分布を示す。スキャンバックライトの左側のLEDを点灯した場合、左目に相当する-6°の方向に輝度のピークがあり、右目に相当する+6°の方向の輝度は低く抑えられている。右側のLEDを点灯した場合は、この逆になっており、左右の目に選択的に光を放射できていることが分かる。

さらに、高速液晶パネルを組み合わせることでスキャンバック

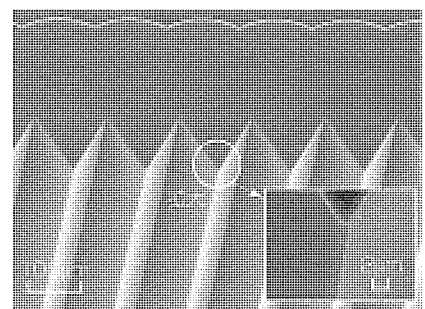


図4. 両面プリズムシートの断面SEM観察写真

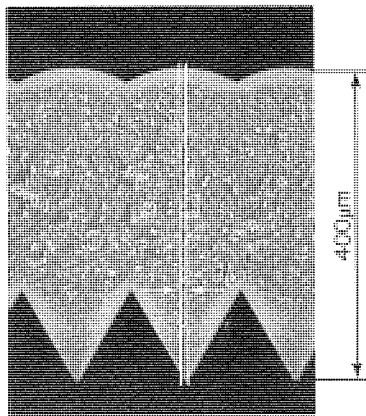


図5. レンチキュラーレンズとTIRプリズムの位置精度

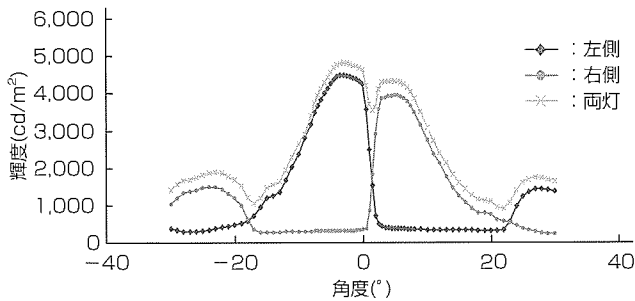
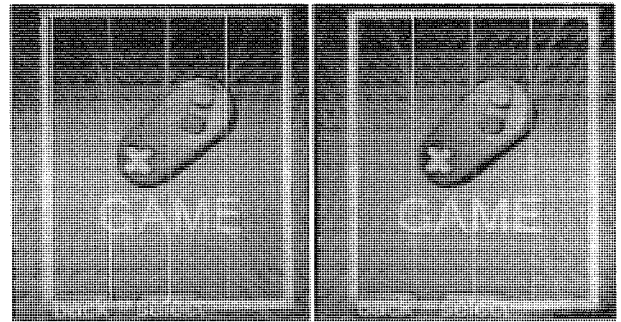


図6. 両面プリズムシートの配光分布

ライト方式立体LCDを組み立てて視差画像を表示した場合の、左目方向 $-6^\circ$ から見た画像と右目方向の $+6^\circ$ から見た画像の写真を図7に示す。どちらも画面全域においてクロストークによる二重像の発生がなく、画像の分離が良好に実現されている。主観評価により、良好な奥行き感が誘引されることが確認されている。



左目画像

右目画像

図7. 高速液晶パネルによる視差画像表示

## 6. むすび

薄肉シートの両面に微細パターンを高精度に成形する立体LCD用両面プリズムシートの精密射出成形技術について紹介した。今後は、さらに、薄型化及び画面サイズの大形化に対応するために、材料、金型、成形技術の高度化を進める。

光学部品の樹脂化は成形技術の高度化により急速に広まりつつあり、今後は、光学設計とプロセス技術の融合により新たな光学部品を創出していく予定である。

## 参考文献

- (1) 谷 千束：シリーズ 先端ディスプレイ技術 6 高臨場感ディスプレイ，共立出版（2001）
- (2) Sasagawa, T., et al. : Dual Directional Backlight for Stereoscopic LCD, SID '03 Digest, 399 (2003)

# 携帯電話の筐体・機構部品のプラスチック成形技術

齋藤浩二\*  
藤田章洋\*\*

*Plastic Processing Technologies of Housing and Mechanical Parts for Mobile Phone*

*Koji Saito, Akihiro Fujita*

## 要 旨

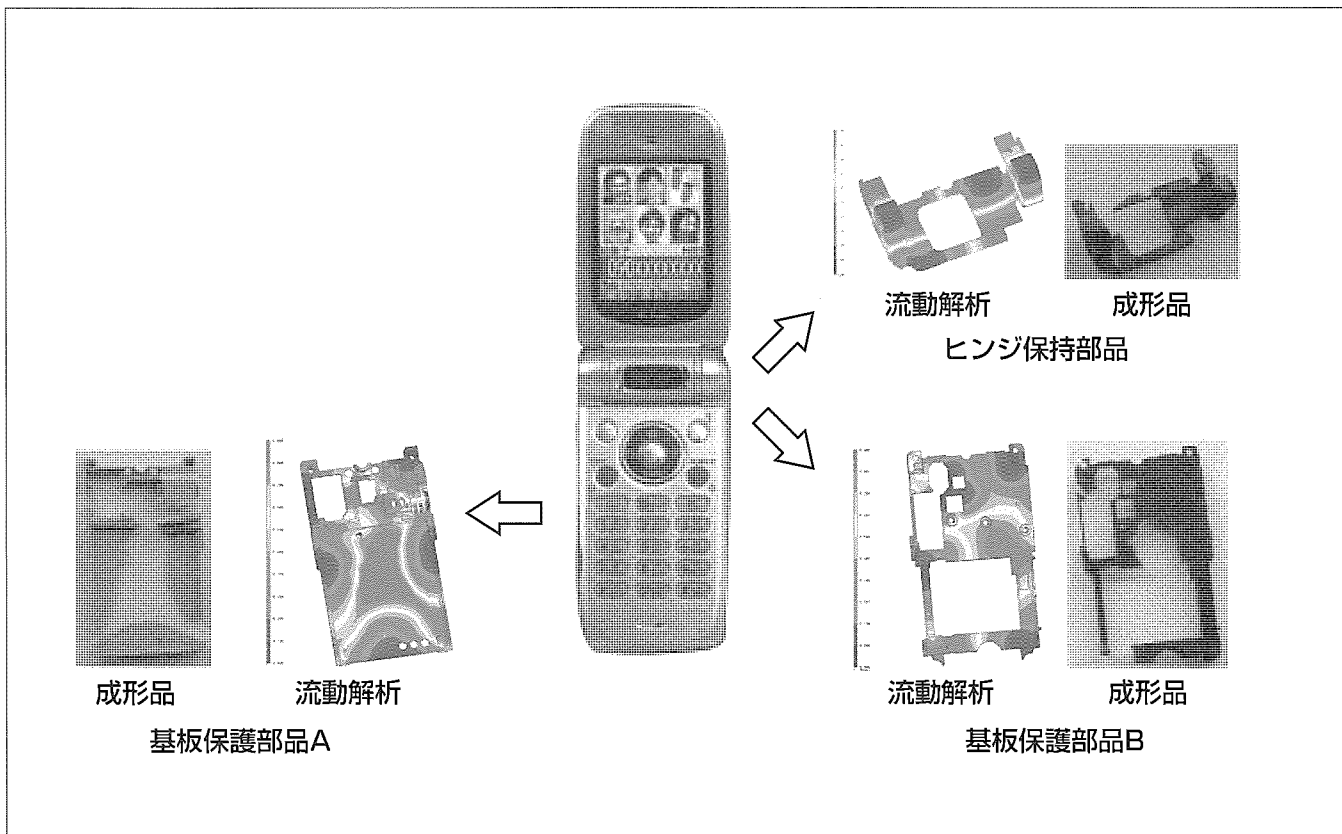
携帯電話の外装筐体(きょうたい)と樹脂部品には、高剛性、高強度、高じん性といった機械的特性が求められる。筐体、機構部品が樹脂成形部品の場合の構造設計においては、樹脂成形における樹脂の流動によるウェルドライン部の強度低下及び樹脂の流動に伴う配向による材料特性の異方性を考慮した形状設計、さらに、樹脂の流動パターンの制御、すなわち、ゲート(樹脂注入口)配置設計が必要となる。そこで、三菱電機では、樹脂流動解析を用いて、これらの点を考慮した携帯電話用樹脂部品のゲート配置設計を行っている。

本稿では、三次元樹脂流動解析による樹脂成形部品のゲート配置設計事例について述べる。さらに、PPS(ポリフ

ェニレンサルファイド)候補樹脂の基本特性評価を基に、高剛性、耐衝撃性が必要な部品の材料選定を行った事例についても述べる。

具体的には、ウェルドライン回避位置、高応力部での流動方向、成形可能条件を満足することを基本とするゲート配置設計により、要求性能を満足する部品を実現した。また、静的及び高速引張試験による樹脂成形部品材料の基本特性評価を基に、携帯電話の耐衝撃性及び静荷重に対する要求性能を満足する材料を選定した。

これらの方法は、成形及び材料技術からのアプローチにより、携帯電話用樹脂部品の開発を効率的に行うことができ、開発期間短縮やコスト低減に役立っている。



## 携帯電話の樹脂機構部品

携帯電話の機構部品には、ヒンジ保持部品、基板保護部品などがある。樹脂流動解析を用いて、これらの部品の高応力発生部、落下時の第一衝突箇所、小断面積部などにおけるウェルドラインの回避、流動方向の制御、成形を実現するゲート配置設計を行う。この成形技術と材料技術により、各部品の要求性能を満足する部品を実現するとともに、開発の効率化、コスト低減を図る。

1. ま え が き

携帯電話機に加わる機械的負荷には曲げ、ねじり、落下衝撃等があり、携帯電話の外装筐体、樹脂部品には高剛性、高強度、高じん性といった機械的特性が求められる。これらの負荷に伴う樹脂成形品の損傷は、樹脂の流動に起因するウェルドライン部の強度低下、樹脂の流動に伴う配向による材料特性の異方性に起因する強度低下などが発生原因となる場合がある<sup>(1)</sup>。このため、樹脂成形部品の構造設計では、材料の強度低下部位を考慮した形状設計、樹脂の流動パターン制御のためのゲート（樹脂注入口）配置設計が重要である<sup>(1)</sup>。

携帯電話には、二つ折り型などで折り畳み部に用いるヒンジ機構の保持部品、又は基板を挟み込んで保護する部品が筐体内部に使われている場合がある。これらの部品は、一般に形状が複雑になるため、樹脂の射出成形の適用が量産性の点からも不可欠である。また、樹脂成形品でこれらの部品に必要な強度を実現するには、繊維などの充填（じゅうてん）材を混入した樹脂の適用が必要となる。上述のウェルドライン部又は樹脂の配向による異方性に起因する強度低下は、繊維などを混入した材料ではより顕著となり、ゲート配置設計が更に重要となる。

本稿では、樹脂成形部品のゲート配置設計を三次元樹脂流動解析を用いて行った事例について述べる。さらに、樹脂の基本特性評価により高剛性・耐衝撃性材料の選定を行った事例についても述べる。

2. 樹脂成形品のゲート設計のための樹脂流動解析

2.1 解析方法

最初に、携帯電話に加わる機械的負荷における応力分布から、ウェルドライン回避及び流動方向制御の必要位置を求めた。

図1(a)に曲げ負荷下におけるヒンジ保持部品の応力分布の一例を示す。ここでは、矢印の部分に高い応力の発生が予想されている。ウェルドライン回避及び流動方向制御

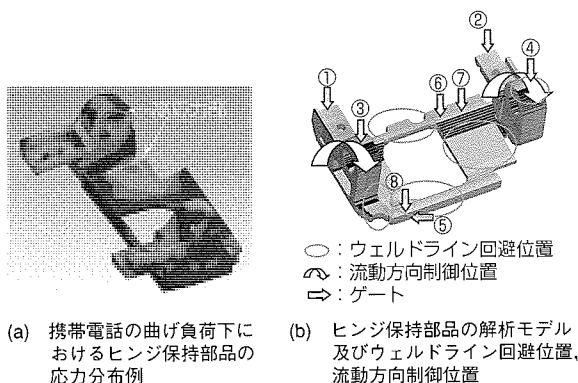


図1. ヒンジ保持部品のゲート設計

の必要な位置は、図1(b)に示すように、応力解析の高応力部、落下時の第一衝突箇所、小断面積部などである。特に、部品挿入穴上部には落下時に高い応力が穴円周に沿って生じることが知られており、この部分では、ウェルドライン回避と同時に、樹脂の流動方向を応力方向と一致させ、材料強度を最大限に生かす必要がある。

図2(a)に、図1(a)と同様、曲げ負荷下における基板保護部品Aでの応力分布の一例を示す。この部品では、高い応力の発生予想部位及び円孔等付近の小断面積部が、図2(b)に示すように、ウェルドライン回避位置となる。

図3(a)は別の基板保護部品Bでの応力分布の一例であり、図3(b)がウェルドライン回避位置である。

次に、各部品で設定したゲート候補位置を組み合わせ、解析し、ゲートの適正配置を決定した。解析には、それぞれの部品に使用する樹脂のデータを用いた。また、解析結果から得られた樹脂充填完了時の最大樹脂圧力を基に、この解析では、100MPaをしきい値として成形性を判断した。

2.2 解析結果

図4～図6に、ヒンジ保持部品、基板保護部品A及び基板保護部品Bの解析結果を示す。ヒンジ保持部品では、ゲート③、④、⑦、⑧を用いることにより、すべての回避位置でウェルドラインは形成されず、ヒンジ穴上部の流動方

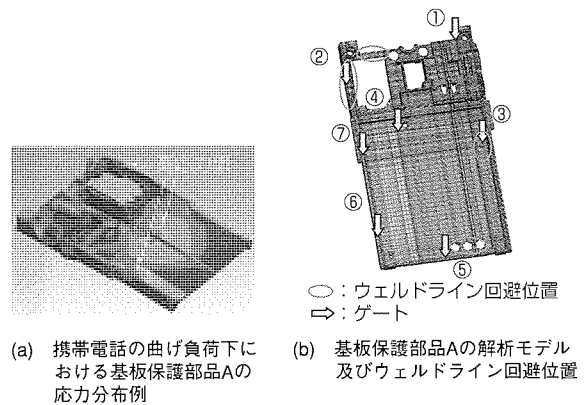


図2. 基板保護部品Aのゲート設計

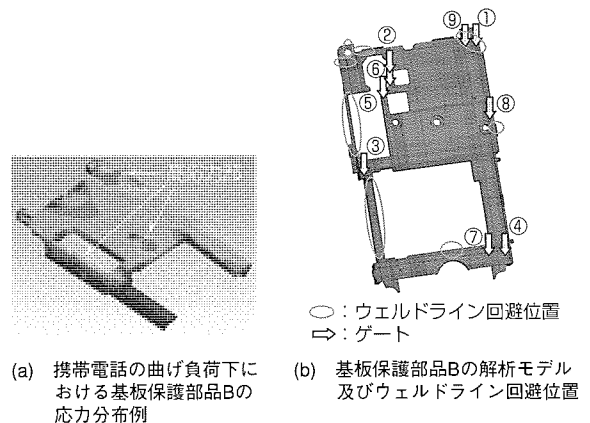


図3. 基板保護部品Bのゲート設計



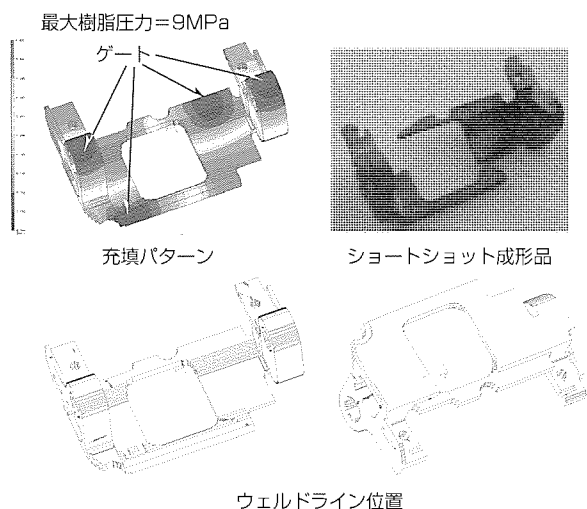


図4. ヒンジ保持部品の解析結果

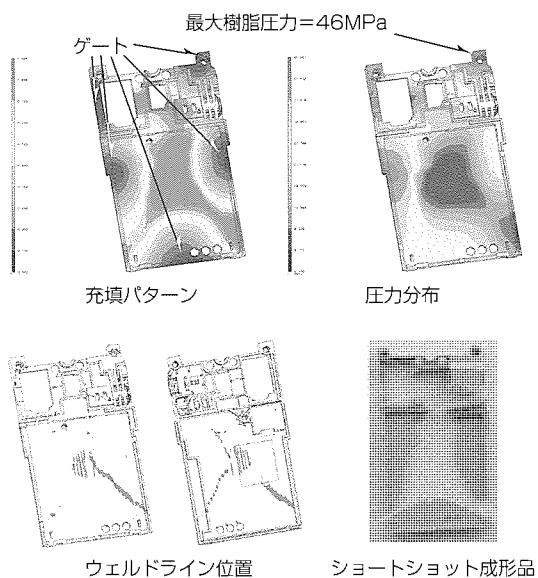


図5. 基板保護部品Aの解析結果

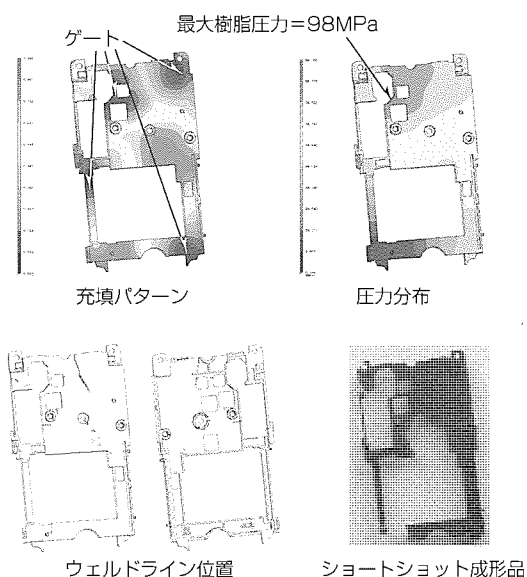


図6. 基板保護部品Bの解析結果

向も要求どおりとなっている。また、最大樹脂圧力も、しきい値より低く、成形可能である。実成形品では、解析結果と同じ位置にウェルドラインが形成され、落下試験でも破壊は発生しなかった。

基板保護部品Aでは、ゲート位置を①、②、③、⑤、⑦とした場合、すべての回避位置でウェルドラインは形成されておらず、さらに、最大樹脂圧力も低く、しきい値に対しても余裕がある。実成形品では、機械的性能も満足し、ゲート配置は上述の5点を採用した。

基板保護部品Bでは、ゲートを③、⑥、⑦、⑨とすることにより、すべての回避位置でウェルドラインは形成されておらず、最大樹脂圧力も、しきい値以下である。上述のゲート配置でのショートショット成形品と比較しても、ウェルドラインは解析結果と同じ位置に形成されており、この場合も、実成形品は機械的性能を満足した。

### 3. ヒンジ保持部品の材料選定

#### 3.1 実験方法

ここでは、樹脂の基本特性評価に基づく高剛性・耐衝撃性材料の選定事例を、ヒンジ保持部品を例にして述べる。

評価した樹脂は、繊維強化PPS樹脂4種類(A~D材)である。評価サンプルはダンベル試験片とし、ダンベルの両端部から樹脂を入れることによりサンプル中央部にウェルドラインを形成させた場合(ウェルド試験片)、及びゲートをどちらか1点としウェルドラインを形成させない場合(ノンウェルド試験片)を作製した。射出成形機は、電動射出成形機(TH80E-9VE, 日精樹脂工業株)を用いた。

引張試験は、一般的な静的試験及び携帯電話の落下試験時の筐体に発生するひずみ速度に相当する高速度試験を行った。

#### 3.2 実験結果

図7に、評価材の引張試験における破断ひずみの測定結果の一例を示す。耐衝撃性指標である高速引張りの破断ひずみは、ノンウェルド試験片では、A材が最も高く、以下C, D, B材の順であった。静的特性においても、破断ひずみはA材が最も高くなった。一方、ウェルド試験片は、ノンウェルド試験片より低い破断ひずみを示した。各材料の比較では、A材が静的で最も高く、高速においても4種

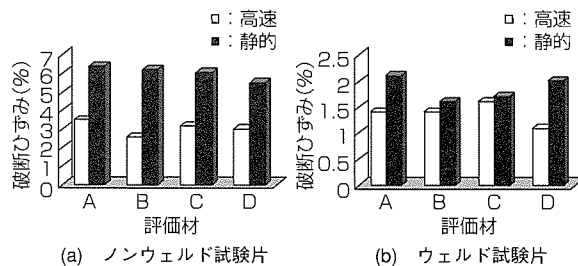


図7. 評価材の引張試験結果

類の樹脂の中では高い値となった。

また、この評価材のノンウェルド試験片の引張強度は、いずれの樹脂の場合も高く問題とならず、曲げ剛性についても繊維含有率が同じであるためほぼ同じであった。

以上の比較から、この事例ではA材をヒンジ保持部品の材料に選定している。

## 4. む す び

以上、三次元樹脂流動解析により樹脂成形部品で重要なゲート配置設計を、ヒンジ保持部品、2種類の基板保護部品を事例として述べた。さらに、ヒンジ保持部品を例に、樹脂の基本特性評価を基にした高剛性・耐衝撃性が必要な材料の選定事例について述べた。

ウェルドライン回避位置、高応力部での流動方向、成形

可能条件(最大樹脂圧力:100MPa以下)を満足することを基本とするゲート設計により、ヒンジ保持部品、2種類の基板保護部品のゲート配置設計を行い、要求性能を満足する部品を実現できることを示した。

また、静的及び高速引張試験による候補材の基本特性評価を基にして、携帯電話の耐衝撃性及び静荷重に対する要求性能を満足する材料を選定した。

この方法は、成形及び材料技術のアプローチにより、携帯電話用樹脂部品の開発を効率的に行うことができ、開発期間短縮、コスト低減に役立つ。

## 参 考 文 献

- (1) 射出成形事典, 産業調査会 (2002)

# 射出成形プロセスを用いた金属めっきプラスチック導波管コンポーネント

浅尾英喜\* 山崎浩二\*\*  
 逸見和久\*\* 米田尚史†  
 椋田宗明\*\*\*

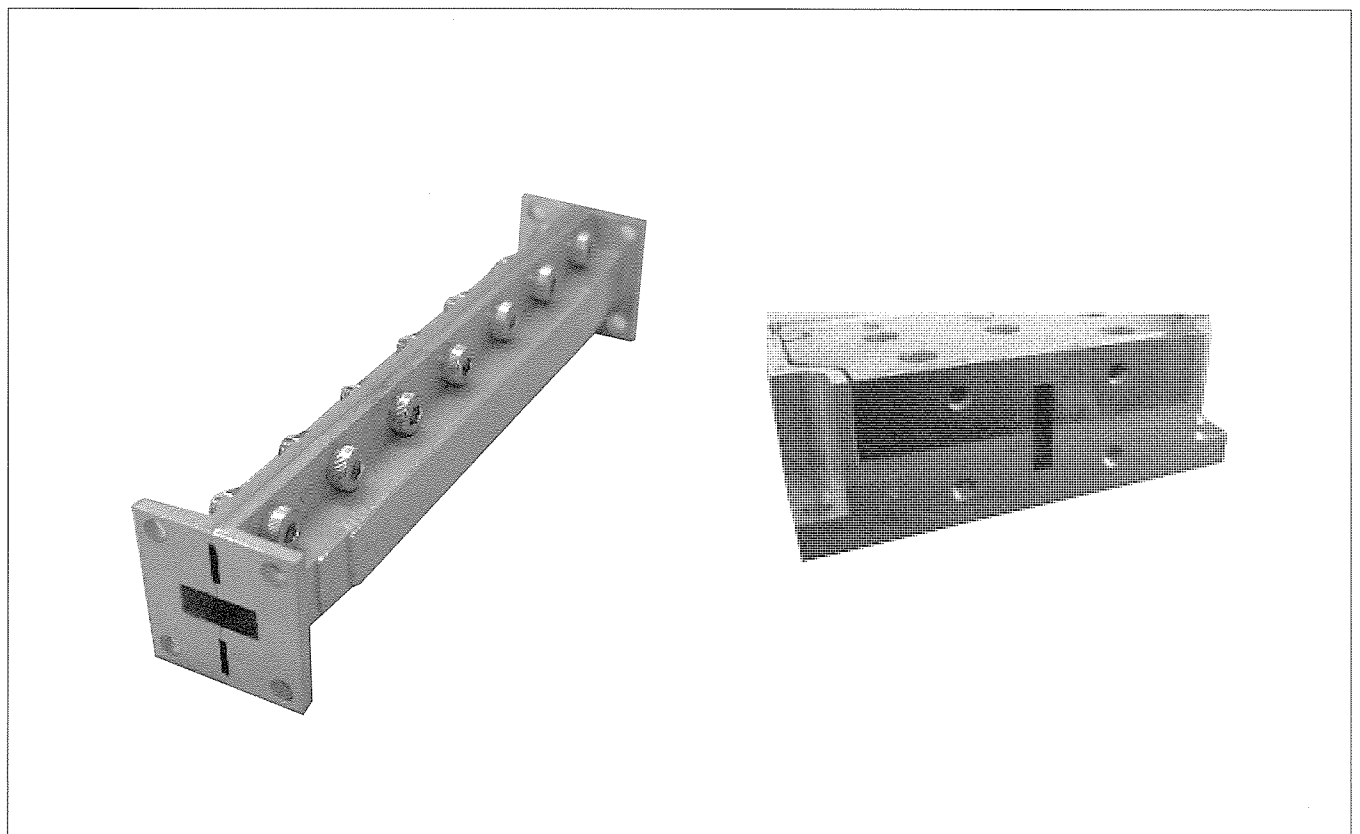
*Metal-Plated Plastic Waveguide Components Using Injection-Molding Process*  
 Hiideki Asao, Kazuhisa Henmi, Muneaki Mukuda, Kouji Yamasaki, Naofumi Yoneda

## 要 旨

Ku帯, Ka帯などマイクロ波周波数帯のインターネット無線アクセスシステムや衛星インターネットシステムなどに適用可能なプラスチック導波管コンポーネントについて述べる。これらのシステムは、一般ユーザーを対象とするため、低コストで大量生産が可能な導波管コンポーネントが要求される。また、上記システムを移動体に搭載する場合は軽量化も要求される。一方、20GHz以上の周波数帯では波長が短いため、一般に導波管の加工寸法は $\pm 20\mu\text{m}$ 以下の厳しい精度が要求される。機械削り加工ではこの精度は得られるが、加工時間が長くコストが高くなり、大量生産には多数の加工設備が必要となる問題がある。また、アルミダイキャストなどの金型成形製造プロセスで量産して

も所要寸法精度が得られない場合にはねじなどによる調整を行うことになり、コストが高つくという問題がある。

本稿では、高精度射出成形プロセスで加工したプラスチックの表面に金属めっきした屋外装置(Outdoor Unit: ODU)用導波管フィルタと半導体増幅器(Solid State Power Amplifier: SSPA)電力合成用導波管ハイブリッド回路について、その設計及び試作結果を示す。設計において金型から成形品を滑らかに引き抜くための抜き勾配(こうばい)の影響を考慮しているところに特長がある。試作の結果、金属削り加工品と同等の性能を得た。これにより、高い周波数帯域の導波管コンポーネントを量産時に低コストで製造でき、かつ、軽量化できることを示している。



射出成形プロセスを用いた金属めっきプラスチック導波管コンポーネント

Ka帯導波管バンドパスフィルタ(左図), Ku帯SSPA電力合成用導波管ハイブリッド回路(右図)を示す。

## 1. ま え が き

Ku帯やKa帯などマイクロ波の高い周波数帯で用いる導波管コンポーネントを量産する場合には、加工精度を保ちつつ加工時間を短くし、かつ、無調整で所要性能が得られる製造プロセス技術及び設計技術が要求される。今回は、高精度プラスチック射出成形プロセス技術と高精度高周波電磁界解析プログラムを用いた設計技術とを組み合わせ、低コスト量産技術を確立した。特に、金型から導波管コンポーネントを滑らかに取り出すには抜き勾配(Draft angle:  $D_a$ )を設ける必要があり、この影響を考慮して高精度な設計を行った。ODU用導波管フィルタとSSPA電力合成用導波管ハイブリッド回路の2種類についてこの設計方法を示すとともに、抜き勾配が電気特性に与える影響、及び試作結果を示す<sup>(1)~(3)</sup>。

## 2. 導波管フィルタ

### 2.1 構造

熱膨張率がアルミニウムと同等のプラスチック材料として液晶ポリマ(Liquid Crystal Polymer: LCP)を用いた。図1に、E面分割プラスチック射出成形導波管フィルタの構造を示す。高精度寸法の金型の空洞に溶融したプラスチックを高圧で射出注入し、硬化後に取り出す。ここでは、金属めっきとして銅めっきを行い、防錆(ぼうせい)としてニッケルのフラッシュめっきを行った。抜き勾配 $D_a$ を設けるため導波管壁が斜めになり、断面が六角形の導波管になる。また、アイリスの断面はテーパ形状になる。

### 2.2 抜き勾配の影響

図2に、抜き勾配の考慮有無について導波管フィルタの

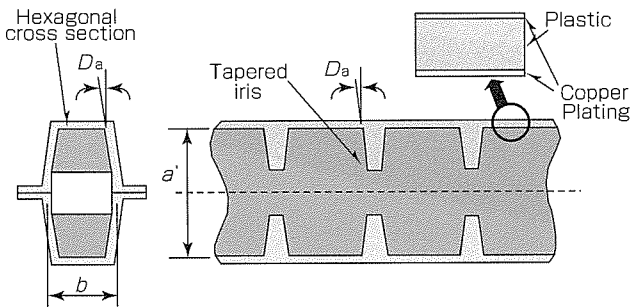


図1. 抜き勾配付きE面分割導波管フィルタの構造

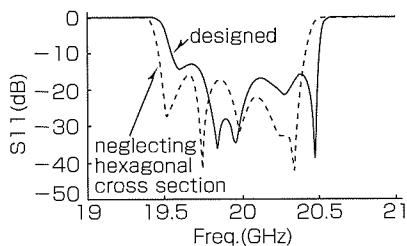


図2. 導波管フィルタにおける抜き勾配の影響

反射(S11)特性計算結果を示す。抜き勾配により導波管遮断周波数が高くなるため、反射が小さくなる周波数帯域も高くなる影響が現れている。

### 2.3 設計

プラスチック射出導波管コンポーネントの設計では、従来の導波管フィルタの設計に、さらに、プラスチック射出成形プロセスを考慮した設計手順を追加することとなる。

図3に示すように、矩形(くけい)導波管の基本モードTE<sub>10</sub>の遮断周波数に六角形導波管の基本モードの遮断周波数が等しくなるよう設計した。六角形導波管の抜き勾配と遮断周波数の関係は有限要素法プログラムにより求めた。また、図4に示すように、アイリスの管軸方向の勾配は階段近似し、モード整合法プログラムを用いて設計した。

### 2.4 試作結果

図5に、試作プラスチック射出成形20GHz帯7段誘導性アイリス導波管共振器形バンドパスフィルタの内部写真を示す。 $D_a=0.8^\circ$ である。図6に、実測値を実線、設計値を破線で示す。挿入損の周波数特性は15MHz以内の差で一致しており、抜き勾配を考慮した設計方法が妥当であることが確認できる。

また、図7には温度特性、図8には温度サイクル試験結果を示す。最小挿入損は0.35dB、温度範囲 $-40\sim+80^\circ\text{C}$ での通過帯域周波数変動は87MHzであり、アルミニウムと同等の良好な結果を得ている。さらに、この設計手順で反

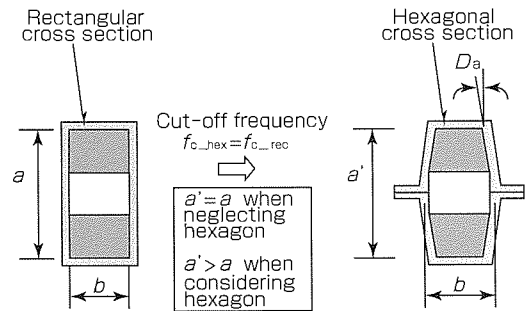


図3. 六角形断面導波管の設計

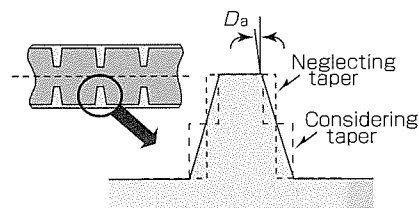


図4. アイリス設計時の勾配のモデル化

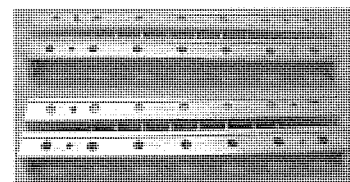


図5. フィルタの内部写真

射特性最適化を行った場合を図9に示す。無調整でS11が-24dB以下の性能を得ている。

### 3. 導波管ハイブリッド合成回路

#### 3.1 構造

図10の(a)に、導波管3ブランチラインハイブリッドを3個用いたE面分割4電力合成回路の構造を示す。導波管フィルタと同様に抜き勾配 $D_a$ により、図の(b), (c)に示すように、導波管断面は六角形状になる。

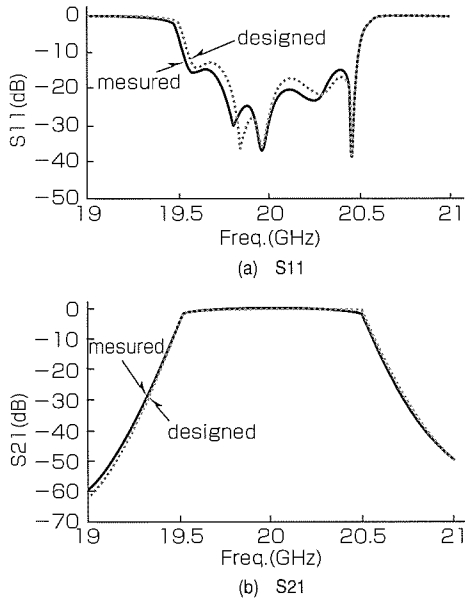


図6. フィルタの電気特性(設計値と実測値比較)

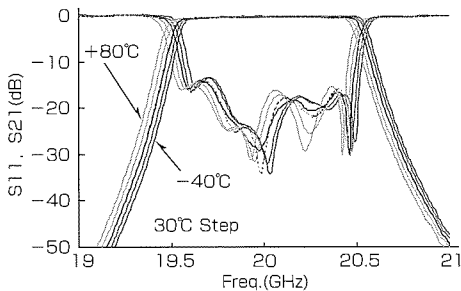


図7. フィルタの温度特性

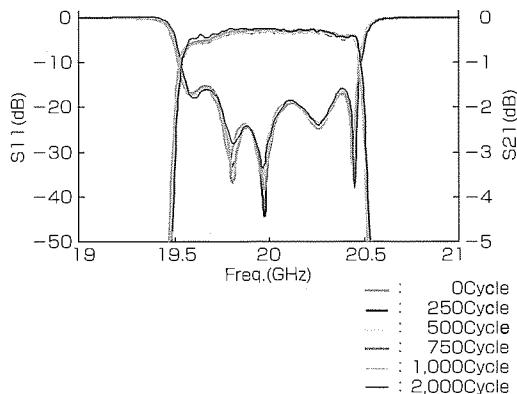


図8. フィルタの温度サイクル試験結果

#### 3.2 抜き勾配の影響

図11に、抜き勾配 $D_a$ が $0^\circ$ ,  $1^\circ$ ,  $2^\circ$ のハイブリッド単体についてSパラメータ計算値を示す。抜き勾配がない場合( $=0^\circ$ )に、14.3GHzで等分配の通過、結合特性が得られるように設計している。ここでは導波管中央での高さ $b$ は固定し、かつ導波管横幅 $a$ も固定するという条件で抜き勾配を設けているため、 $D_a$ が大きくなるに伴い導波管側壁の高さが低くなる。したがって、 $D_a$ が大きくなるに伴い、導波管のインピーダンスが低くなり、かつ、遮断周波数が高くなる。この結果、 $D_a$ 大に伴い、等分配3dBの結合特性が疎結合でかつ中心周波数が高くなる傾向にあることが分かる。

#### 3.3 設計

通常の抜き勾配がない、つまり矩形断面の導波管ハイブリッドの設計では、導波管横幅を一定として主導波管と分岐導波管の寸法は、遮断周波数は同一であるため、各導波

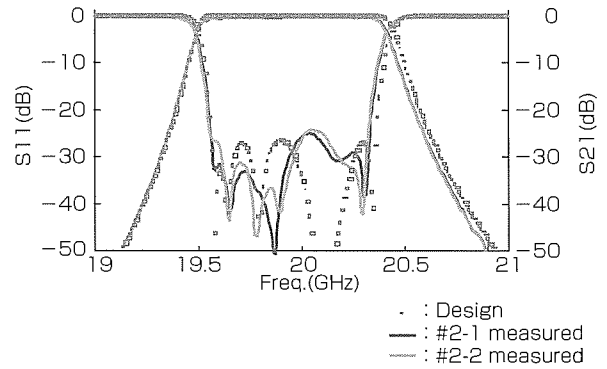


図9. フィルタの反射特性最適化設計試作結果

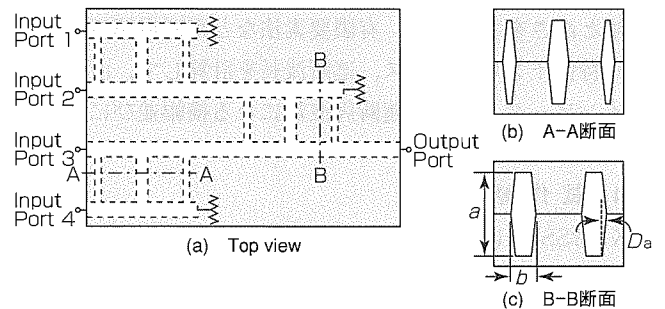


図10. 抜き勾配付きE面分割導波管4電力合成回路

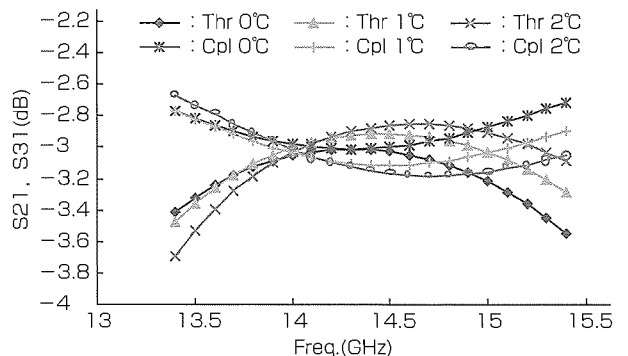
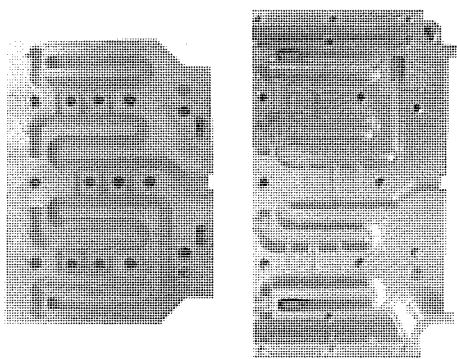


図11. 導波管ハイブリッド単体における抜き勾配の影響



(a) 合成回路上部 (金属めっきプラスチック) (b) 合成回路下部 (アルミニウム)

図12. 導波管合成回路部の内部写真

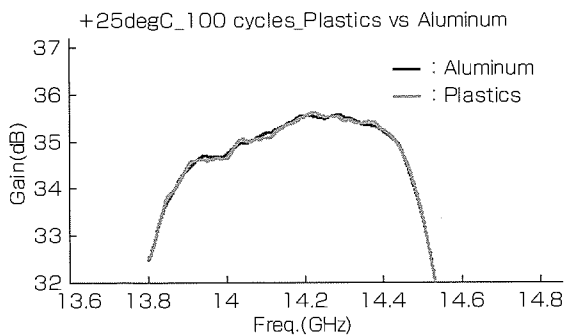


図13. 周波数 vs 小電力時利得特性(全アルミニウムとの比較)

管の長さや高さを独立に決定できるので設計が容易である。

一方、六角形導波管では、高さを変化すると、抜き勾配の影響で特性インピーダンスのみでなく遮断周波数も変化する。このため、通常の矩形導波管ハイブリッド設計後に、この設計寸法を初期値として、各六角形導波管について、横幅と高さを変化させ、有限要素法など電磁界解析手法により特性インピーダンス、遮断波長を計算して、所要の特性インピーダンス及び遮断周波数になる横幅並びに高さを求めなければならない。

### 3.4 試作結果

Ku帯SSPAにおいて、4合成回路の上部の導波管コンポーネントがアルミニウムの場合と、射出成形プロセスを用いた金属めっきプラスチックの場合とを比較した。下部はいずれの場合も無反射終端器の電波吸収体から発生する熱を逃がすためアルミニウムを用いている。図12に、試作合成回路部の内部写真を示す。合成回路部の質量は全アルミニウム製の約70%である。図13に、小電力時合成出力利得を示す。図14に、温度サイクル試験前後の周波数14.2GHzでの出力と利得の関係を示す。+46dBm(=40W)以上の出力を得ている。いずれも増幅器筐体(きょうたい)温度+95℃における実測値である。両者は良く一致しており、めっき剥(は)がれやプラスチックひずみなどが生じていないことを示している。図15には、アルミニウム製との比較を示す。両者には差がなく、プラスチック製合成回

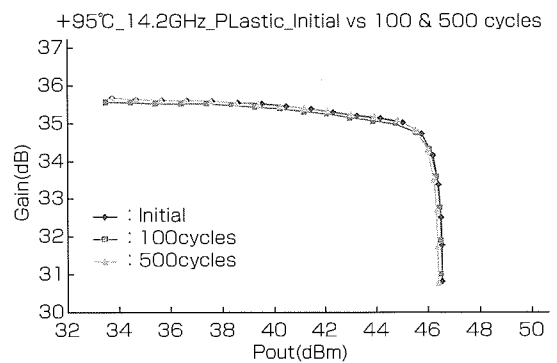


図14. 出力 vs 利得特性 (温度サイクル: 初期, 100cycles, 500cycles)

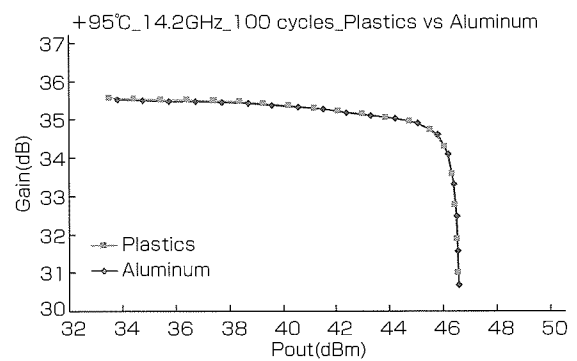


図15. 出力 vs 利得特性 (全アルミニウムとの比較)

路は同等の電気特性を持っていることが実証されている。

## 4. むすび

射出成形プロセスを用いた金属めっき導波管コンポーネントとしてKa帯バンドパスフィルタとKu帯ハイブリッド電力合成回路について、設計法とその試作結果を示した。金型成形プロセスで避けることのできない抜き勾配を考慮した高精度設計技術と高精度プラスチック成形技術を融合することにより、無調整化が実現でき、Ku、Ka帯導波管コンポーネントの量産時の低コスト化が可能となった。また、プラスチックの軽量化の特長は移動体システムなどに適用可能である。

## 参考文献

- (1) Asao, H., et al.: Metal-plated plastic waveguide filter using injection molding process, IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., WE1C-5, 941~944 (2003-6)
- (2) Asao, H., et al.: Metal-plated plastic waveguide filter injection molding process, MWE 2003 Workshop Digest, WS15-02 (2003-11)
- (3) Asao, H., et al.: Ku-band Power Combiner Composed of Metal-Plated Plastic Waveguide Hybrid, IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., WE3B-1, 625~628 (2004-6)



# 固体高分子型燃料電池用カーボン樹脂 モールドセパレータ

三谷徹男\*  
犬塚隆之\*\*

Molded Separators Consisted of Carbon-Resin Composites for Polymer Electrolyte Fuel Cell

Tetsuo Mitani, Takayuki Inuzuka

## 要 旨

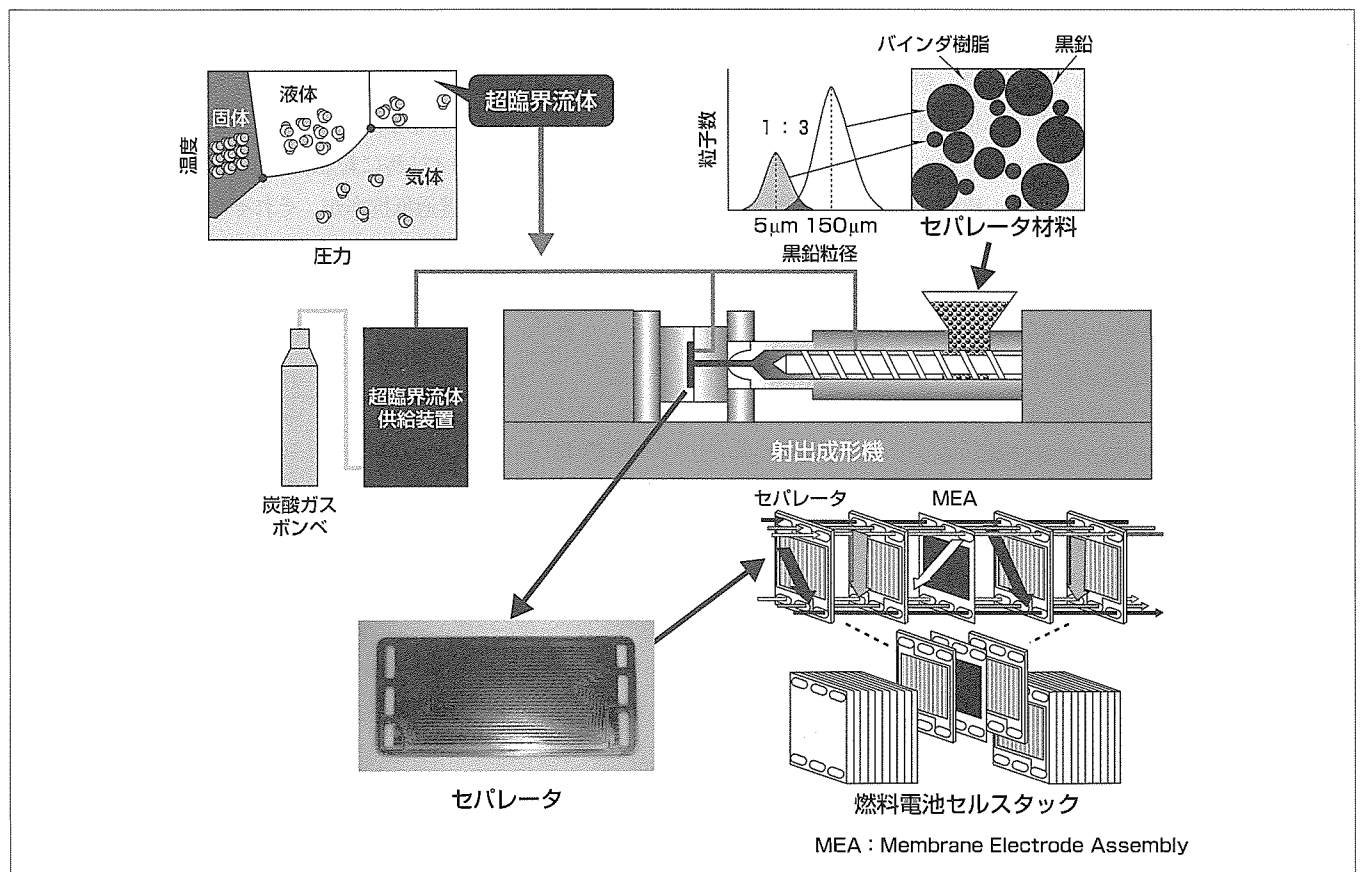
省資源と環境保全の立場から、クリーンで低コストのエネルギーを安定的に確保することが世界共通の課題となっている。このため、クリーンでエネルギー効率の良い燃料電池が注目されており、特に、固体高分子型燃料電池は運転温度が比較的低温で小型化が容易なことから、自動車用、家庭用、携帯用などの次世代のクリーンエネルギー供給装置として期待されている。

三菱電機では、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構が実施している「固体高分子型燃料電池システム技術開発事業 固体高分子型燃料電池要素技術開発等事業」に参画し、現在、「カーボン樹脂モールドセパレータの開発」として、家庭用や可搬型電源用の燃料電池に用い

るセパレータの研究開発を進めている。

現在、セパレータに要求される電気特性とセパレータの射出成形に必要とされる流動特性を両立するための熱可塑性材料及び成形技術開発を進めている。材料技術開発では、導電材となる黒鉛について、球状大粒径な黒鉛を多量成分とし、そこに球状小粒径黒鉛を少量成分として配合することで流動性を確保しつつ抵抗率を低減することが可能となった。成形技術開発では、射出成形時に二酸化炭素の超臨界流体を溶融状態の樹脂及び金型に導入することにより流動性を向上させ、セパレータを成形した。今後、さらに、抵抗率の低減と成形性の向上を図る。

特集  
I



## セパレータ加工のための材料及び射出成形技術の概要

5µmと150µmの黒鉛を1:3で配合したセパレータ材料に二酸化炭素の超臨界流体を導入して射出成形することにより、129mΩ・cmの貫通抵抗率を持つA5サイズで1.7mm厚のセパレータを成形することが可能となった。

## 1. ま え が き

固体高分子型燃料電池(Polymer Electrolyte Fuel Cell: PEFC)は、水素と酸素を燃焼過程を経ずに化学的に反応させ電気エネルギーに変換する装置であり、運転温度が比較的低温で小型化しやすく、また、発電効率が高いことから、自動車用、家庭用、携帯用などの次世代のエネルギー供給装置として注目を集めている<sup>(1)</sup>。PEFCの構成部材であるセパレータは、従来、カーボンを数千℃で焼成し黒鉛化したものを精密機械加工して使用しているため、量産性に乏しく、製造コストもかさむことから、1枚当たりの価格は数万円となっており、PEFCの実用化・普及を阻む大きな障害となっている。このことから、PEFC用セパレータの低コスト・量産化技術の確立は急務である。

## 2. PEFC用セパレータの役割

PEFC用セパレータは、図1に示すように、各セルを挟んで数多くのセルを積層して直列につなぎ、電圧を稼ぐ際の導電パスとしての役割を果たし、また、水素や酸素をセルに送り込む流路を形成し、かつ、水素や酸素の相互拡散を遮断するという役割も果たしている。

## 3. 低コストPEFC用セパレータの現状と課題

黒鉛を導電性充填(じゅうてん)材、樹脂をバインダとし、水素や酸素の流路となる複雑な形状の溝を低コストで形成可能な圧縮成形や射出成形によるセパレータの開発が検討されている<sup>(2)</sup>。現在、フェノール樹脂やエポキシ樹脂などの熱硬化性樹脂をバインダとするセパレータの開発が、ポリフェニレンサルファイド(PPS)樹脂やポリプロピレン(PP)樹脂などの熱可塑性樹脂を用いたものより先行しており、PEFCが1万~10万ユニット/年の量産規模を確保できれば、セパレータの価格は数百円/枚を達成できる目処が立っている。熱可塑性樹脂をバインダとするセパレータは、熱硬化性樹脂のものよりタクトタイムを短縮できるため、更なる低コスト化が可能となるが、導電パスとして

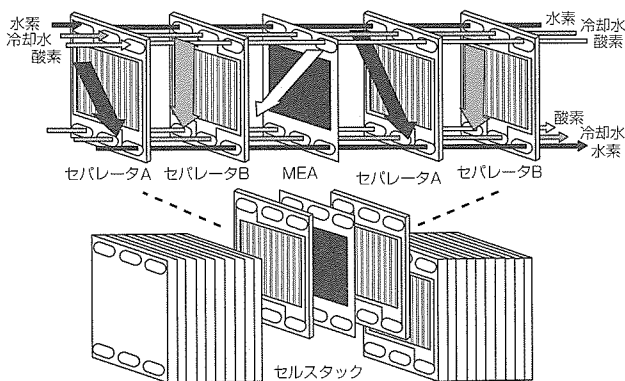


図1. PEFCの構造

のセパレータの役割を確保するため、黒鉛を多量に充填すると、射出成形時の流動性が低下し、セパレータ形状に加工することが困難になるという大きな課題がある。

## 4. 当社における取り組み

当社では、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(New Energy and Industrial Technology Development Organization: NEDO)が実施している「固体高分子型燃料電池システム技術開発事業 固体高分子型燃料電池要素技術開発等事業」に参画し、「カーボン樹脂モールドセパレータの開発」として、家庭用や可搬型電源用1kW級燃料電池に用いるセパレータの研究開発を進めている<sup>(3)</sup>。カーボン樹脂モールドセパレータの目標値は表1に示すとおりである。

## 5. カーボン樹脂モールドセパレータの材料及び成形技術

### 5.1 低抵抗・高流動を達成するための材料設計指針

セパレータ材料の電気抵抗及び流動性に及ぼす黒鉛の形状、粒径の影響を把握し材料設計指針を得るため、図2に示す球状、粒状及び板状の黒鉛を粒径及び充填量を変化させてPPS樹脂に充填し、表2に示す組成のセパレータ材料を調製した。図3に、セパレータ材料の貫通抵抗率と材料温度320℃、せん断速度 $1,024\text{s}^{-1}$ における粘度の関係を示す。図中の数値は黒鉛の充填量である。黒鉛の充填量が増加するにつれ、すべての形状の黒鉛で貫通抵抗率は低下した。G-10-47とG-18-47(共に粒状黒鉛)、F-3-47とF-11-47(共に板状黒鉛)の貫通抵抗率が、それぞれ、 $9.7 \times 10^3 \text{m}\Omega \cdot \text{cm}$ と $9.3 \times 10^3 \text{m}\Omega \cdot \text{cm}$ 、 $6.9 \times 10^3 \text{m}\Omega \cdot \text{cm}$ と $7.0 \times 10^3 \text{m}\Omega \cdot \text{cm}$

表1. カーボン樹脂モールドセパレータの目標値

| 項目   | 条件               | 目標値                                      |
|------|------------------|--|
| 電気特性 | 貫通抵抗率            | $\leq 10 \text{m}\Omega \cdot \text{cm}$ |
| 機械特性 | 曲げ強度             | $\geq 50 \text{MPa}$                     |
|      | 曲げひずみ            | $\geq 1\%$                               |
| 熱安定性 | 熱水浸漬90℃, 2,000h  | 強度低下 $\leq 5\%$<br>質量変化率 $\leq \pm 1\%$  |
|      | 熱水浸漬150℃, 1,563h | 抽出水導電率* $\leq 50 \mu\text{S}/\text{cm}$  |
| 成形精度 | 厚み分布             | $\leq \pm 0.05 \text{mm}$                |
| コスト  | 100万枚製作時         | $\leq 200 \text{円}/\text{枚}$             |

\*) 20mm×20mm×2mm試料4枚と10mm×50mm×2mm試料4枚を60cm<sup>3</sup>イオン交換水に浸漬

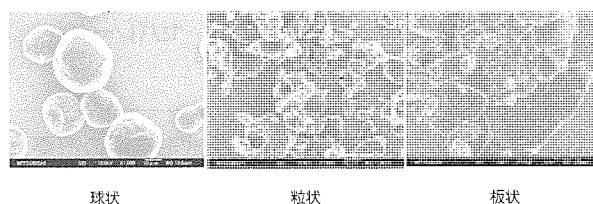


図2. 黒鉛粒子の形状

と同等であることから、黒鉛の粒径は貫通抵抗率に影響しないことが分かった。黒鉛充填量47.4vol%における貫通抵抗率を比較すると、球状>粒状>板状の順で貫通抵抗率が高かった。これは、黒鉛のアスペクト比が大きいほど黒鉛同士が接触しやすいことに起因していると考えられる。黒鉛充填量の増加に伴う貫通抵抗率の低下度合いは、球状黒鉛が最も大きく、黒鉛充填量を増加させた場合、球状黒鉛を充填したセパレータ材料が他の形状の黒鉛を充填したセパレータ材料よりも低い貫通抵抗率を示すと思われる。これは、球は均一粒径の場合、最密充填における黒鉛充填量が単純立方構造の52vol%から面心立方構造の74vol%の間であるのに対し、板は同一寸法の直方体の場合、100vol%まで充填しないと最密充填にならないことが原因であると考えられ、粒度分布がある実際の黒鉛においてもこの現象が現れたと推測される。

一方、黒鉛充填量が増加するにつれ、貫通抵抗率は低下し、粘度は増大することが分かる。また、同図から、黒鉛充填量の増加に伴う粘度の増加度合いは球状黒鉛が最も小さく、さらに、黒鉛形状及び充填量が同一で粒径のみが異なるG-10-47とG-18-47、又はF-3-47とF-11-47を比較すると、粒径の大きな黒鉛を充填したセパレータ材料の方が低い粘度を示すことが分かった。これらの結果から、比表面積の小さな黒鉛を充填すれば、充填量の増加に伴う粘

度増加(流動性の低下)を抑制できると推測される。

以上のことから、低抵抗・高流動を達成するためには、表3に示すように、黒鉛は球状で、大粒径のものを選択するべきであると言える。

### 5.2 2分布混合による高流動化

目標の貫通抵抗率に到達するためには、更なる黒鉛の高充填化が必要であるが、流動性を維持する必要もある。そこで、バインダをPPS樹脂からPP樹脂に変更し、さらに、充填材を高充填した際の流動性向上として、Chongらが提案している充填材の2分布混合の効果を検証した。この2分布混合とは、図4に示すように、平均粒径の異なる粒子を小粒径粒子と大粒径粒子が1:3となるように樹脂に充填すると、小粒径粒子が“コロ”の役目を果たし、1分布のときよりも流動性が向上するというものである。また、小粒径粒子と大粒径粒子の平均粒径比が大きいほど得られる効果が大きいとされている。

まず、流動性に及ぼす小粒径粒子と大粒径粒子の充填量比の影響については、平均粒径5μmと150μmの粒状黒鉛を用い、表4に示す組成を持つセパレータ材料を調製した。これらのセパレータ材料を射出成形機でパージしたときの圧力を図5に示す。黒鉛を2分布混合したG-8-54、G-16-47及びG-23-39は、黒鉛が1分布であるG-0-62より

表2. セパレータ材料の組成

| セパレータ材料略号 | 黒鉛形状 | 黒鉛粒径(μm) | 黒鉛充填量(vol%) |
|-----------|------|----------|-------------|
| S-28-38   | 球状   | 27.8     | 37.5        |
| S-28-47   | 球状   | 27.8     | 47.4        |
| S-28-58   | 球状   | 27.8     | 58.3        |
| G-10-47   | 粒状   | 10       | 47.4        |
| G-10-58   | 粒状   | 10       | 58.3        |
| G-18-47   | 粒状   | 17.8     | 47.4        |
| F-3-38    | 板状   | 3        | 37.5        |
| F-3-47    | 板状   | 3        | 47.4        |
| F-11-47   | 板状   | 10.5     | 47.4        |

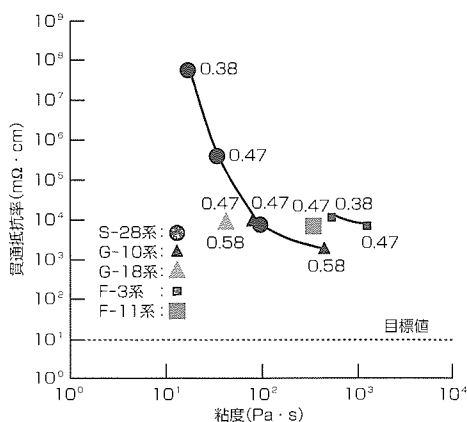


図3. セパレータ材料の貫通抵抗率と粘度の関係

表3. セパレータ材料の設計指針

| 黒鉛 | 低貫通抵抗率化 | 高流動性化(低粘度化) |
|----|---------|-------------|
| 形状 | 球状      | 球状          |
| 粒径 | 影響なし    | 大           |

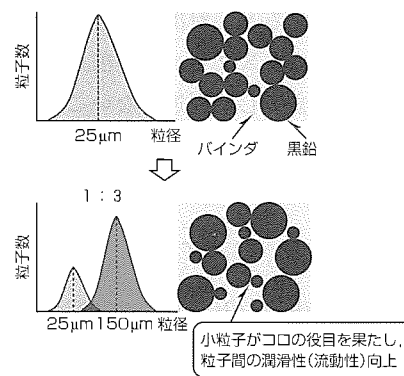


図4. 充填材の2分布混合

表4. 充填量比が異なる2分布混合セパレータ材料の組成

| セパレータ材料略号 | 5μm黒鉛の充填量(vol%) | 150μm黒鉛の充填量(vol%) |
|-----------|-----------------|-------------------|
| G-0-62    | 0               | 62.1              |
| G-8-54    | 7.8             | 54.3              |
| G-16-47   | 15.5            | 46.6              |
| G-23-39   | 23.3            | 38.8              |

もパージ圧力が低く、黒鉛を2分布混合すれば流動性向上に効果があることが検証できた。また、2分布混合の中でも、小粒径黒鉛と大粒径黒鉛の充填量比が1:3であるG-16-47のパージ圧力が最も低く、小粒径黒鉛と大粒径黒鉛の充填量比が1:3のとき、流動性が最も向上することが確認できた。これらのセパレータ材料の貫通抵抗率を図6に示す。なお、G-0-62は流動性が悪く、試験片を作製できなかった。PPS樹脂をバインダとしたときよりも黒鉛配合量が増えたため、貫通抵抗率は低下し、 $130\text{m}\Omega\cdot\text{cm}$ 程度となった。また、小粒径黒鉛と大粒径黒鉛の形状が粒状で類似しているため、充填比の差異による貫通抵抗率の違いは認められなかった。

### 5.3 射出成形時の炭酸ガスの導入による高流動化

射出成形時に熔融状態にある樹脂に超臨界流体(Super Critical Fluid: SCF)を導入すると、SCFが可塑剤的な役割を果たし、粘度低下に伴う流動性向上が得られる<sup>(4)</sup>。そこで、熔融樹脂中でSCFにしやすい炭酸ガス(臨界温度 $31.3^\circ\text{C}$ 、臨界圧力 $7.38\text{MPa}$ )を用いてセパレータ材料の高流動化を検討した。図7に、G-5-150(G-16-47)を用いて長さ約 $200\text{mm}$ 、幅約 $90\text{mm}$ 、厚さ $1.7\text{mm}$ のセパレータを射出成形したときの炭酸ガス導入の有無による充填状態の違いを示す。炭酸ガスを未導入の場合にはセパレータは完全充填できなかったが、射出成形機のバレル側に $6\text{MPa}$ 、金型のキャビティ側に $1\text{MPa}$ の炭酸ガスを導入することによって完全充填することができた。これは、図8に示すように、炭酸ガス(図中SCFと表記)が未導入な場合、導入した場合よりも流動性が低いため、充填開始後の射出圧力の立ち上がりが速く、成形機の最大圧力に到達する。射出圧力が最大圧力に達すると、射出速度を減速することで圧力維持が図られるため、スクリー位置の前進具合が減少し、高いスクリー位置までしか到達しないことが原因である。炭酸ガス導入の有無によるセパレータの比重に違いがないことから電気的な特性も影響されないと思われる。

## 6. むすび

固体高分子型燃料電池のセパレータに関する材料及び成形技術開発について述べた。現状では、電気特性が目標値に達していないため、黒鉛自体の低抵抗化を黒鉛メーカーと協力して進める。今後、さらにセパレータ材料の抵抗率低減及び成形性の向上を図り、コスト的にも問題のないセパレータを開発する。

### 参考文献

- (1) 佐野 彰：固体高分子型燃料電池の開発動向，工業材料，51，No.4，18～21 (2003)
- (2) Mitani, T., et al.: Properties of Graphite-Polymer Composites for PEFC Separators, 2003 Fuel Cell

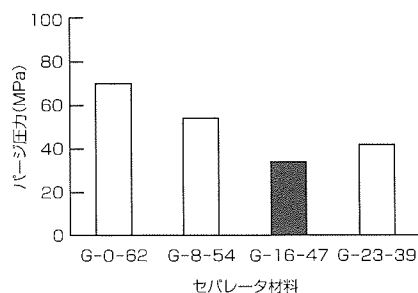


図5. 充填量比の異なる2分布混合セパレータ材料のパージ圧力

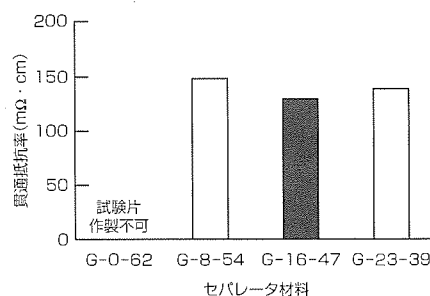


図6. 充填量比の異なる2分布混合セパレータ材料の貫通抵抗率

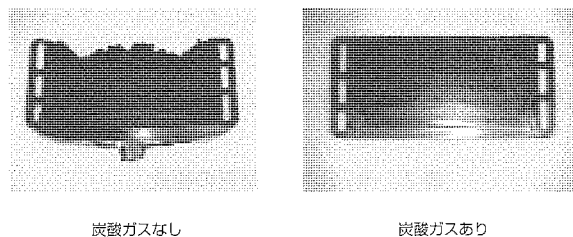


図7. 炭酸ガス導入の有無による成形品充填状態の違い

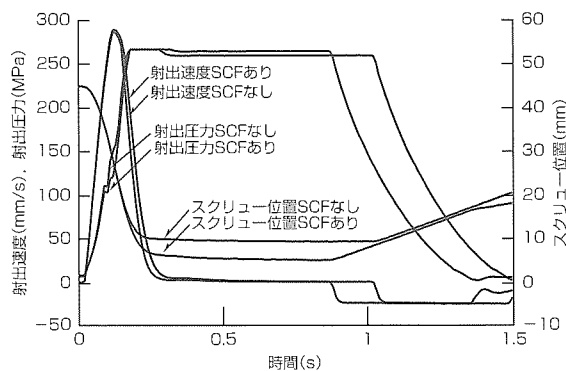


図8. 射出成形時の射出速度、圧力及びスクリー位置の変化

Seminar, 208～211 (2003)

- (3) 西村靖雄：固体高分子型燃料電池の開発経緯と現状の課題-NEDOにおけるPEFC技術開発への取組み-，工業材料，51，No.4，22～25 (2003)
- (4) 間山 勉： $\text{CO}_2$ を使う新成形加工技術-AMOTEC-，プラスチック，54，No.8，46～48 (2003)

# プラスチックマグネットの直接成形技術

荒木 健\*  
竹井多賀子\*  
曾根孝典\*\*

## Direct Injection Molding for Bonded Magnets

Takeshi Araki, Takako Takei, Takanori Sone

### 要 旨

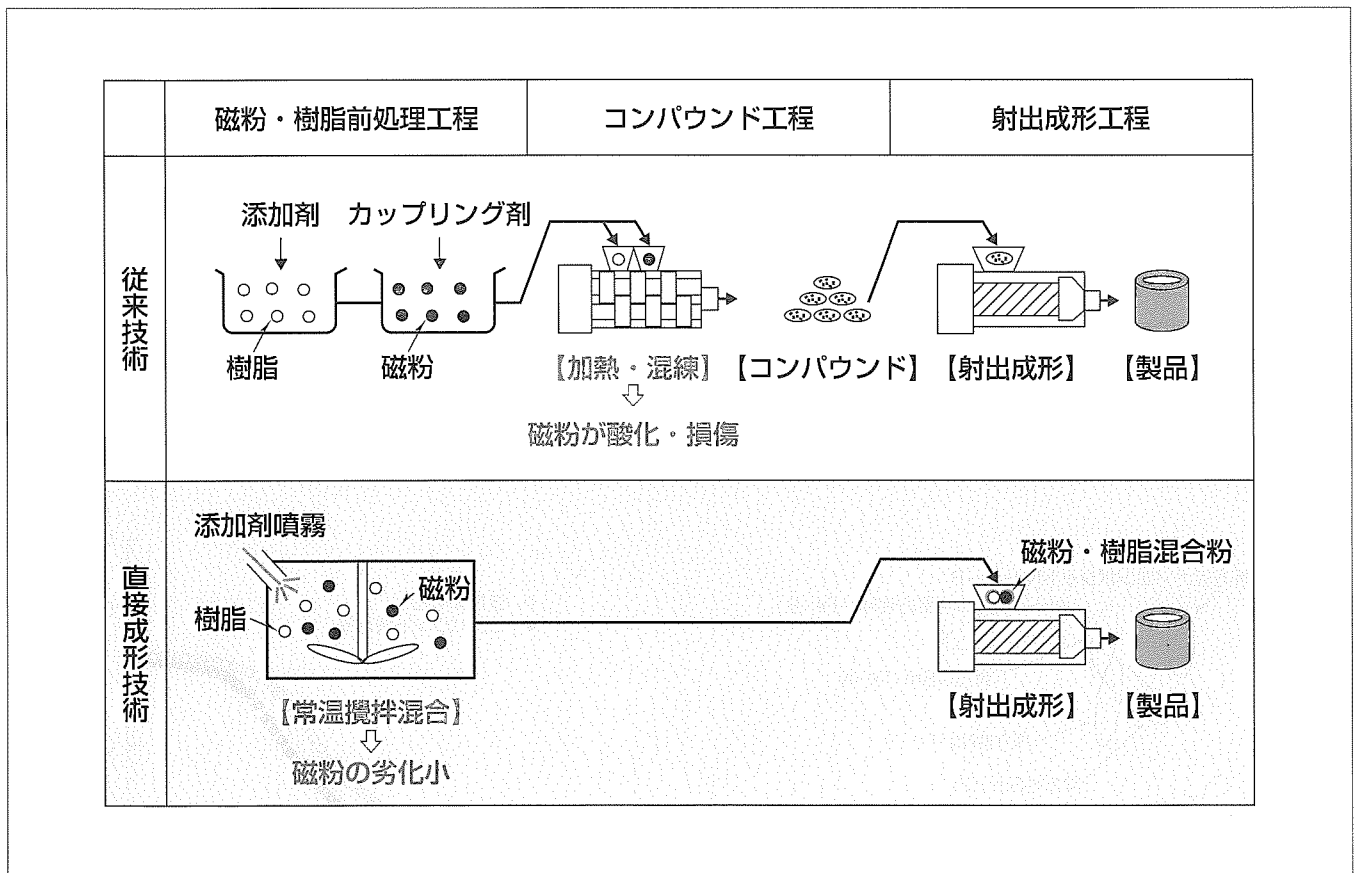
射出成形プラスチックマグネットは、その優れた成形性を生かして、情報機器や家電機器用モータを始め、各方面で需要が拡大している。最近では、機器の小型・高出力・高効率化に伴い、プラスチックマグネットの高磁力化の要求が高まっている。

従来から、プラスチックマグネットの射出成形は、磁粉と樹脂を複合化したペレット状のコンパウンドを用いて行われている。コンパウンドは成形原料としての取り扱いが容易であるが、その反面、コンパウンド工程における加

熱・混練が磁粉の酸化や機械的損傷を引き起こし、これにより磁気特性が劣化する傾向がある。

直接成形技術は、コンパウンド工程を使用することなく、樹脂と磁粉を常温で攪拌(かくはん)混合することにより得られた混合粉を、直接、射出成形機へ投入してプラスチックマグネットを成形する技術である。この技術によれば、従来のコンパウンド工程で生じていた磁粉の酸化や機械的損傷の問題が回避されるため、磁気特性の向上を図ることができる。

特集  
I



### 射出成形プラスチックマグネットの製造工程

プラスチックマグネットの射出成形は、一般に、磁粉と樹脂を複合化したペレット状のコンパウンドを用いて行われる。これに対し、直接成形技術では、磁粉と樹脂の混合粉を、直接、射出成形機に投入して成形を行う。

1. ま え が き

プラスチックマグネット(以下“プラマグ”という。)は磁粉を樹脂で結合した磁石であり、成形性に優れ、寸法精度が高く、割れにくいなどの特長を持っていることから、情報機器や家電機器のモータなどに需要が拡大している<sup>(1)(2)</sup>。プラマグはナイロンやポリフェニレンサルファイド(PPS)等の熱可塑性樹脂を結合材として射出成形により製造される射出成形プラマグと、エポキシ等の熱硬化性樹脂を結合材として圧縮成形により製造される圧縮成形プラマグに大別されるが、特に射出成形プラマグは、生産性に優れ、製品の低コスト化に有利な技術となっている。図1に射出成形プラマグの種類と磁気特性の関係を示す。現在、磁力は低いものの価格が安いフェライトプラマグが主に使われているが、機器の小型・高出力・高効率化に伴い磁力の高いプラマグが求められるようになってきている<sup>(3)(4)</sup>。プラマグの高磁力化には磁気特性の高いNd-Fe-B系やSm-Fe-N系の希土類磁粉を選択するとともに、可能な限り樹脂の割合を減らして磁粉を高充填(じゅうてん)することが重要である。現在、磁粉の高密度分散には加熱溶融した樹脂に磁粉を混練するコンパウンド工程が使われているが、一方で、この工程において磁粉の酸化や機械的損傷が生じ、磁気特性が劣化するという問題がある。

本稿では、この問題を解決するためコンパウンド工程を使わずに磁粉と樹脂の混合粉を直接射出成形機に投入してプラマグを成形する“直接成形技術”について述べる。

2. 製造方法

図2に射出成形プラマグの製造工程を示す。従来技術では、初めに1次原料の樹脂と磁粉に添加剤を加える前処理を行い、次に、これらの処理粉を混練押出機を用いて加熱混練してコンパウンドを作製し、ペレタイザにより数ミリの大きさに切断する。最後に、このコンパウンドを射出成

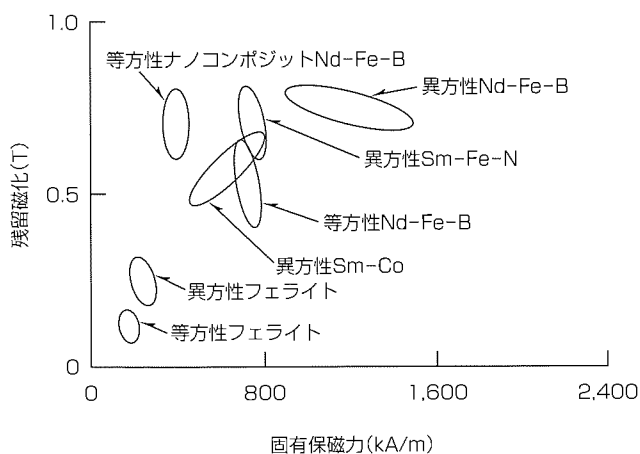


図1. 射出成形プラマグの種類と磁気特性

形機に投入して金型内に射出し、プラマグを成形する。プラマグに必要な均一分散性は、コンパウンド工程の段階で得られる。

これに対し直接成形技術では、樹脂と磁粉を添加剤とともに常温で攪拌混合し、得られた混合粉末を直接、射出成形機へ投入してプラマグを成形する。ここで、攪拌混合にはステンレス製のフックを自公転させる混合攪拌機を用いている。均一分散性は、従来技術と異なり、攪拌混合工程で確保されることが特長である。

プラマグの試作には、磁粉として等方性Nd-Fe-B磁粉と異方性フェライト磁粉を体積比率1:1で混合した磁粉を用い、樹脂としてナイロン12を用いた。磁粉と樹脂の配合比については体積比率で1:1とした。射出成形条件については、成形機のシリンダ温度を240℃とし、異方性フェライト磁粉の配向のため1.0 Tの磁場を成形金型に印加した。

3. 試作結果

図3には、直接成形技術と従来のコンパウンド技術により作製した外径30mm、厚さ8mmのテストピースの減磁

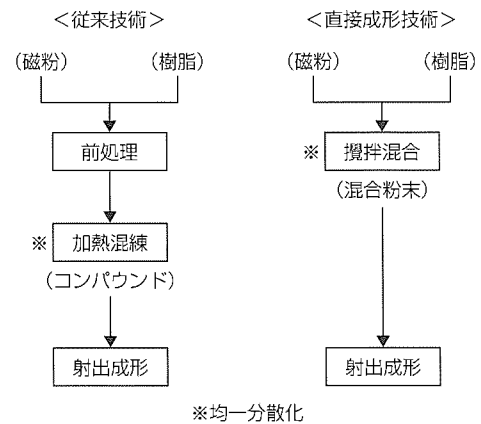


図2. 射出成形プラマグの製造工程

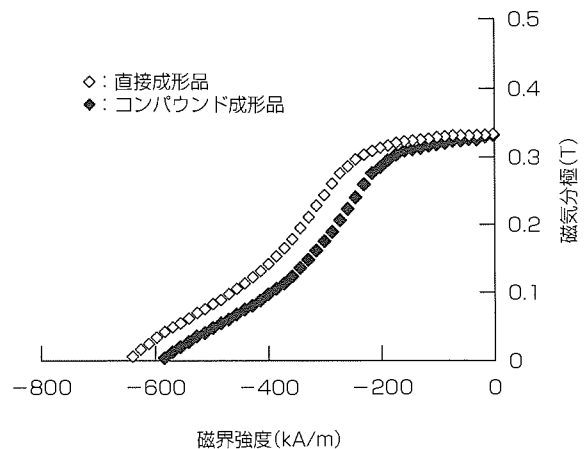


図3. 試作プラマグの減磁曲線



曲線を示す。測定評価にはBH (B:磁束密度, H:磁界強度)カーブトレサを用いた。この結果から、直接成形品はコンパウンド成形品に比べて固有保磁力が約1割大きく、角形性も高いことが分かる。表1に磁気特性の測定結果を示す。直接成形品は最大エネルギー積についてもコンパウンド成形品より大きな値が得られていることが分かる。

図4に直接成形品とコンパウンド成形品の内部組織を示す。白く見える板状粒子がNd-Fe-B磁粉であり、黒い領域がフェライト磁粉と樹脂が混在した部分である。コンパウンド成形品は、直接成形品に比べてNd-Fe-B磁粉の粒子が小さくなっている。これは、コンパウンド成形品がコンパウンド工程で機械的に破碎された結果と考えられ、磁粉が受ける機械的な損傷度が大きいことが伺える。この損傷は保磁力低下を招く要因であり、損傷度が小さい直接成形品は保磁力低下への影響度が小さいと考えられる。

コンパウンド工程と攪拌混合工程が磁粉の固有保磁力に及ぼす影響度を確認するため、射出成形前の原料であるコ

ンパウンドと混合粉末について各工程を繰り返し行った場合の磁粉の固有保磁力の変化を振動試料型磁力計により測定した。その結果については、図5のとおり、コンパウンド工程を一回通すと固有保磁力が10%以上低下するのに対し、攪拌混合工程の低下率は約1%と小さい。このことから、攪拌混合工程は保磁力低下にほとんど影響しないことが分かる。

図6(a)には、直接成形技術により作製した直径51mm、高さ24mmの極異方性プラマグ回転子(8極)を示す。この回転子の表面磁束密度は同図(b)に示すとおり良好な波形が得られており、直接成形技術においても材料不均一のないプラマグが得られることが分かった。

#### 4. む す び

射出成形プラマグの製造において、従来のコンパウンド工程を使わずに磁粉と樹脂の混合粉を直接射出成形機へ投入して製品を成形する直接成形技術について述べた。この技術によれば、コンパウンド工程で磁粉が受けていた酸化や機械的損傷の問題が回避されるため保磁力の劣化が低減され、最大エネルギー積が改善される。このことは、今後プラマグを自動車などの高耐熱用途へ展開する場合に生じ

表1. 試作プラマグの磁気特性

|                               | コンパウンド成形品 | 直接成形品 |
|-------------------------------|-----------|-------|
| 残留磁化 (T)                      | 0.33      | 0.33  |
| 保磁力 (kA/m)                    | 217       | 238   |
| 固有保磁力 (kA/m)                  | 593       | 649   |
| 最大エネルギー積 (kJ/m <sup>3</sup> ) | 19.7      | 20.9  |

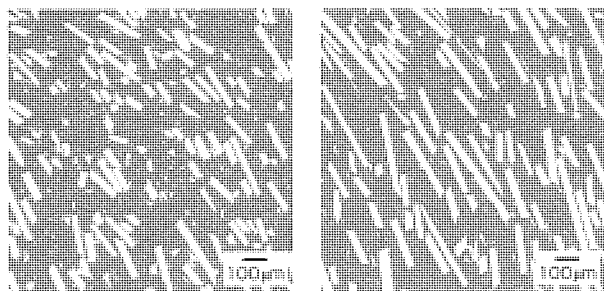


図4. 試作プラマグの内部組織の光学顕微鏡写真

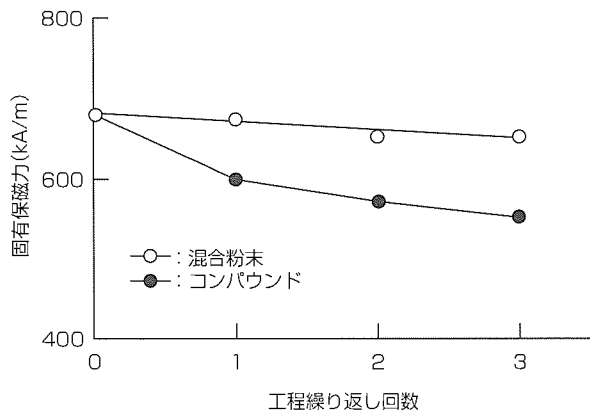
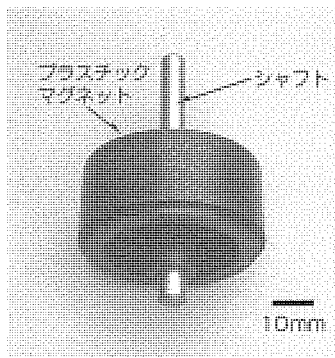
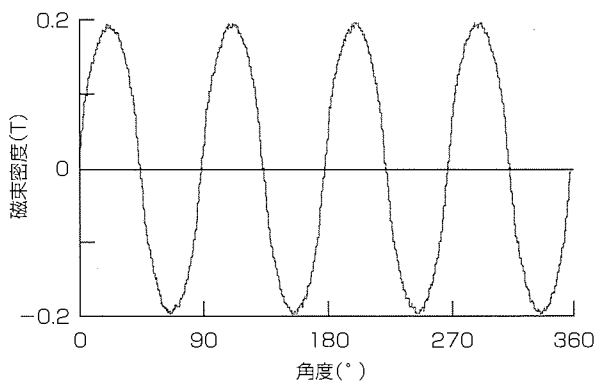


図5. 各工程を繰り返した場合の磁粉の固有保磁力の変化



(a) 外観写真



(b) 表面磁束密度波形

図6. 直接成形によるプラマグ回転子試作品

る高温減磁の問題に対しても、この技術が有効であることを示している。なお、直接成形技術は、コンパウンド工程を省いているため、従来よりも製造コストが低減する利点も持っている。

## 参考文献

- (1) 石川 尚, ほか: Sm-Fe-N系磁石用粉末の作製とボンド磁石への応用, 日本応用磁気学会誌, **24**, No.12, 1394~1401 (2000)
- (2) 安井 宏, ほか: 射出成形用の高性能複合磁性材料, 工業材料, **51**, No.2, 21~27 (2003)
- (3) 松岡 篤, ほか: 送風機用ブラシレスDCモータの高性能化検討, 電気学会回転機研究会資料, RM-01-161, 13~18 (2001)
- (4) 山下文敏, ほか: 高性能小型永久磁石モータに関する調査, 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-01-53, 33~38 (2001)

# プラスチック射出成形CAE技術

椋田宗明\*

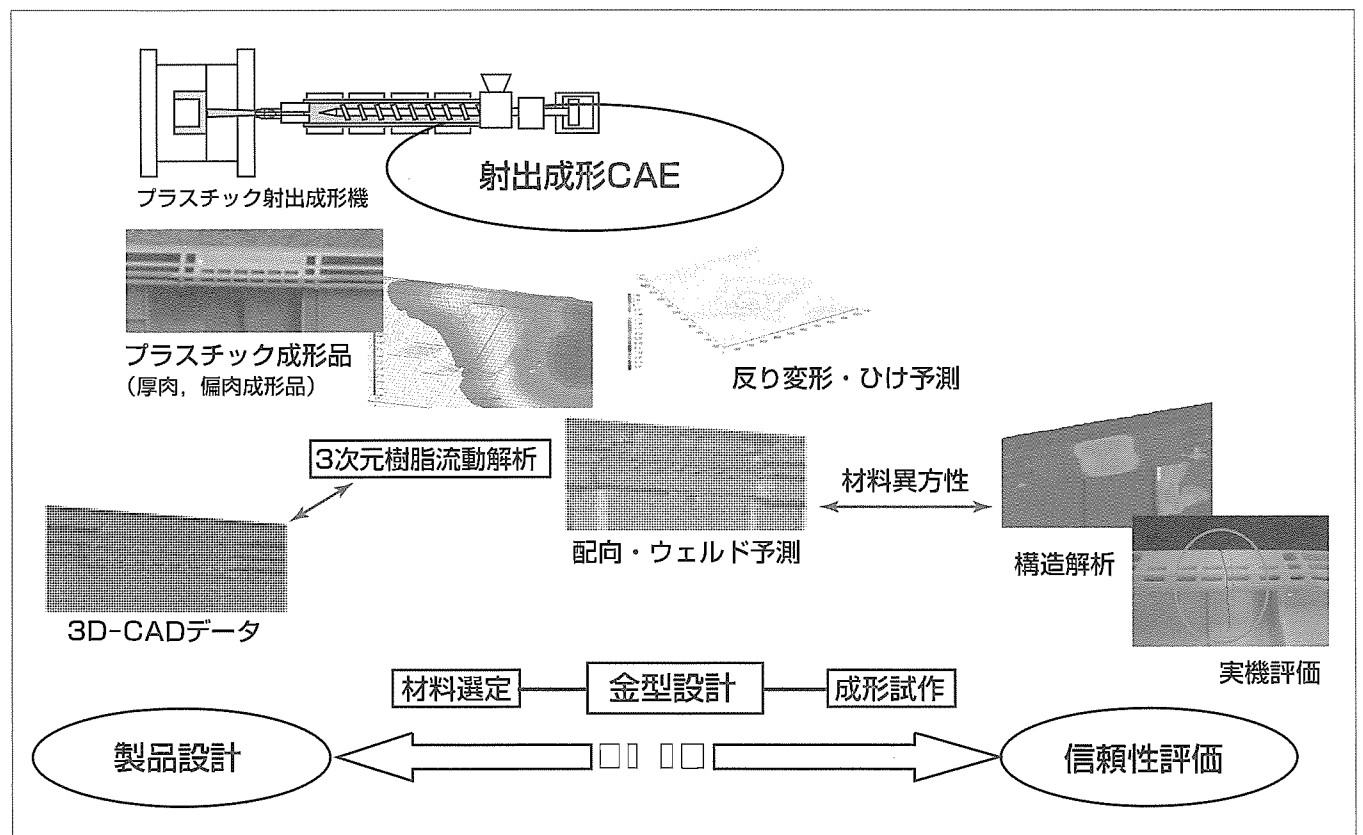
Computer Aided Engineering Technologies of Plastic Injection Molding  
Muneaki Mukuda

## 要旨

プラスチック成形品の開発では、成形時の樹脂流動に起因した外観不良や不均一な冷却固化による“反り”変形など、成形プロセスにかかわる課題を事前検討し、設計品質を向上させることが重要である。これに対応する解析ツールとして、成形時の樹脂の流動固化現象を理論的に予測し、樹脂充填(じゅうてん)工程から成形後の反り変形まで解析可能な射出成形CAEシステムが開発されてきた。最近では、計算機の処理能力の向上と3次元CADの普及により、3次元CADデータを直接解析に使用する3次元解析への移行が進展し、これまでの2.5次元ベースの解析に比べて偏肉部を持つ複雑な形状の成形品や厚肉成形に対する解析精度も向上している。本稿では、従来では解析困難であった成形品の意匠性に影響する成形品表面の“ひけ”の発生を3次元流動解析により予測し、その有効性を示した。また、プラスチック成形品において機械的強度が要求されるため

に、比較的厚肉でかつ偏肉部を持つ構造部品について、成形時の樹脂の流動方向やウェルドの発生を解析し、構造解析と連携させながら、形状変更による強度面での改善を図った解析について述べた。射出成形CAEの進展により、設計段階で事前検討できる範囲が広がりつつあるが、成形プロセスにおける樹脂を流動させて固化するという過程において、プラスチックは流動方向やウェルドにより物性値に大きなばらつきや異方性が発生しやすく、使用時に思わぬ不具合が発生するケースが依然多い。3次元解析の大きな利点は、これらを高精度に解析して、構造解析と上手に連携させて解析を進めることにより、使用時の環境条件や負荷荷重を与えた解析が容易となり、製品設計や金型設計の段階で、成形品の信頼性や品質を考慮した設計を可能とすることである。

特集  
I



## プラスチック射出成形CAE技術

3次元樹脂流動解析をベースにしたプラスチック射出成形CAEは、3次元CADデータが直接解析に使用でき、厚肉や偏肉を持つ複雑な形状のプラスチック成形品の解析が高精度に行えるため、製品設計や金型設計を支援する強力なツールとなっている。さらに、構造解析と連携した解析により、成形時に発生する材料の異方性やウェルドなどを考慮した解析が可能となり、設計品質をより向上させることができる。

\*先端技術総合研究所

1. ま え が き

プラスチック成形品の開発では、成形不良のない成形品形状や金型設計、さらには安価材料の適用、成形サイクルの短縮、金型開発期間の短縮(トライ&エラーの削減)など、製造プロセスにかかわる課題の事前検討により、設計品質を高め、成形品と金型の開発費用を低減しながら品質や信頼性をいかに向上させるかということが重要である。これに対処するための強力な武器として、金型内でのプラスチックの流動固化現象を理論的に予測する射出成形CAEが活発に研究されてきた<sup>(1)~(3)</sup>。最近では、計算機の処理能力の向上と低コスト化及び3次元CADの普及により、3次元CADデータを直接解析に利用可能な3次元樹脂流動解析<sup>(1)</sup>への移行が加速している。

本稿では、3次元射出成形CAEの適用例として、家電製品や情報通信機器の筐体(きょうたい)開発において比較的重要な要求特性でありながら定量的な解析が困難である意匠性に対し、CAE適用の可能性を検討した3次元射出成形CAEによるひけを予測した。また、プラスチック成形品において機械的強度が要求され、比較的厚肉でかつ偏肉部を持つ構造部品について、成形時の樹脂の流動方向やウェルドの発生を解析し、構造解析と連携させながら、形状変更による強度面での改善を検討した。

2. プラスチック意匠部品のひけ予測

家電製品や情報通信機器の樹脂筐体の開発では、筐体肉厚の薄肉化に伴う反り、又はリブ、ボス部のひけ等、外観品質の低下を防止することが重要である。外観不良となるひけについては、目視判定に頼っているため定量化がなされておらず、明確な設計指針を得ることが難しい。そこで、3次元樹脂流動解析によるひけ予測を行うとともに、非接触3次元形状測定機を使用してひけを実測し解析精度の検証を行った。ここでは、情報通信機器の筐体と同等の肉厚構成のリブ構造を持つ平板ひけ評価成形品を試作し、検証を行った。

平板ひけ評価成形品を図1に、解析に使用した3次元解析モデルを図2に示す。成形品は、意匠面板厚0.8、

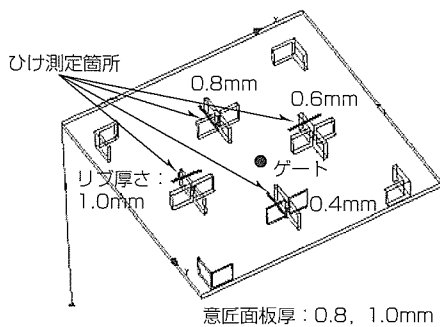


図1. 平板ひけ評価成形品

1.0mmの2種類とし、厚さ0.4, 0.6, 0.8, 1.0mmの4種類のリブをそれぞれ十字形状で配置し、リブ背面の意匠面上のひけを評価した。

図3に、ABS樹脂で成形した平板ひけ評価成形品のひけ量測定結果を、リブ背面と意匠面の肉厚比(リブ厚さ/意匠面厚さ)とひけ量の関係で示した。ひけの目視検査から、人の目でひけと判断されるひけ量の下限値は約0.7 $\mu$ mであると推定された。各成形品について反り変形解析を行った結果を図4、図5に示す。解析から得られたひけ量は、評価サンプルを測定した結果から、全体的に小さい値を示したが、平板サンプルのリブ背面部のひけ量とリブ厚さの関係における傾向をよく再現しており、解析によるひけ量予測値に対し補正を加えることでひけ量の予測が可能であることが分かった。3次元樹脂流動解析と反り解析から、ひけの発生を抑制するためのリブと意匠面の肉厚比の指針を求めることが可能となった。

3. 配向解析及びウェルド予測

プラスチック射出成形品では、成形時の樹脂の流動方向

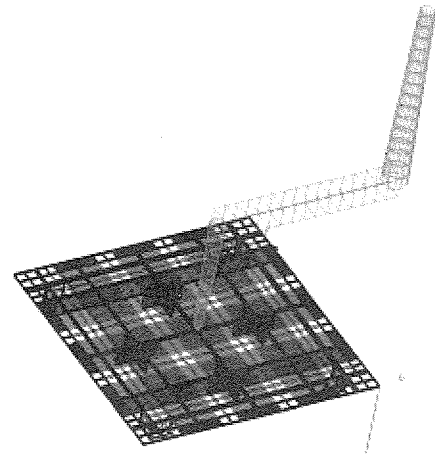


図2. 3次元解析モデル

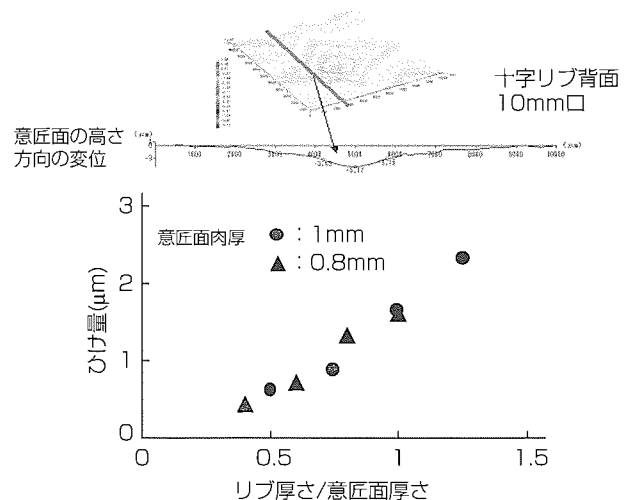


図3. ひけ量測定結果

に樹脂に添加されているフィラーが配向して、弾性率や強度など機械特性の異方性が発生したり、分岐した樹脂の流れが成形品内で合流するウェルド部では物性が低下しやすく、機械特性が要求されるプラスチック構造部品では成形後の物性の変動を考慮することが必要である。プラスチック成形品の補強には肉厚を厚くしたりリブの追加が検討されるが、肉厚の変更やリブの追加により形状が複雑になり、成形時の樹脂流動方向の変化やウェルドの発生により、強度低下が起きて逆の効果を招きやすい。

図6は、ポリスチレン(PS)樹脂で成形され筐体部品に設置された製品を壁へ固定するのに使用されるフック部を示している。この成形品では、補強構造としてリブを格子状に配置したものである。成形に使用するPS樹脂の負荷応力-破断時間の特性を図7に示す。このPS樹脂では、成形時の流動方向に比べ、その直角方向やウェルド部では負荷応力に対する破断時間が約1/3となり、機械特性が大きく低下する。

格子状のリブの補強を行った成形品を試作し荷重試験を行った結果、フック部で図8に示すようなクラックが発生した。構造解析により製品取り付け時のフック部に発生する応力を解析した結果、製品固定時にフック部には水平

方向の引っ張りの力が加わり、その方向に対して垂直な方向にクラックが発生していることが分かった。図9に、3次元樹脂流動解析によるフック部の樹脂の配向解析を行った結果を示す。樹脂は主にフック部に対して水平方向に流れていくが、格子状の補強部では、格子の偏肉によって、多数のウェルドが発生するとともに、フックに対して水平方向の流動だけでなく、格子に沿って縦方向の流れが発生していることが分かった。

以上のような解析結果を基に、フック部のリブの格子状の配置を止め、図10のように樹脂の流動がスムーズになるように形状に変更した結果、荷重試験によるクラック発生を回避することができた。

#### 4. む す び

プラスチック射出成形品の開発において、3次元樹脂流動解析を適用することにより、肉厚方向の樹脂の流動や収

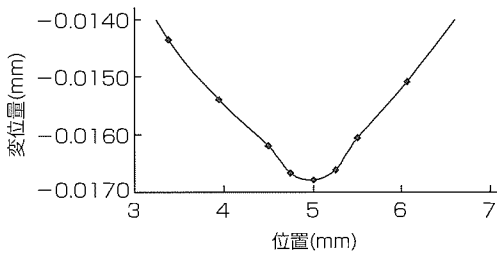


図4. 反り変形解析によるひけ評価結果(十字リブ(0.8mm))

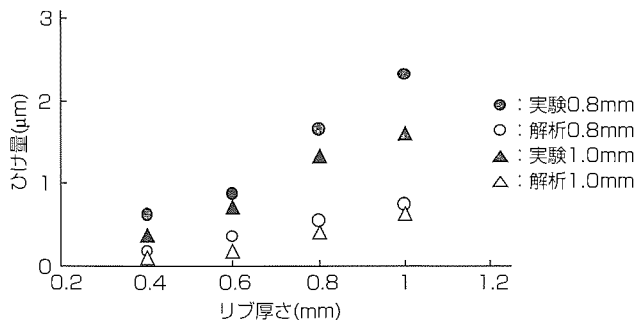


図5. ひけの解析結果と実成形品の比較結果

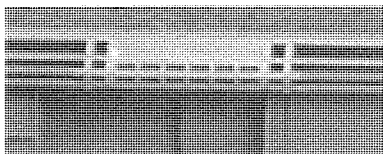


図6. プラスチック筐体部品のフック部補強構造

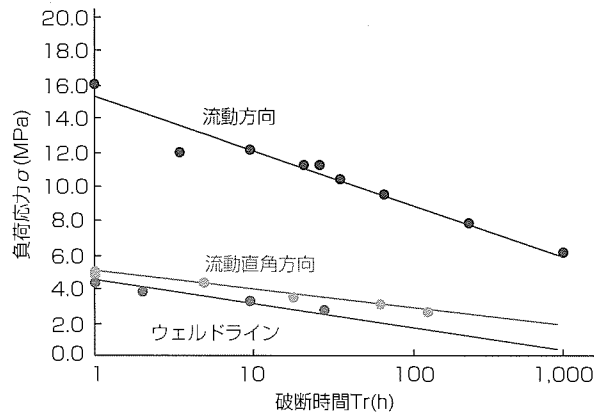
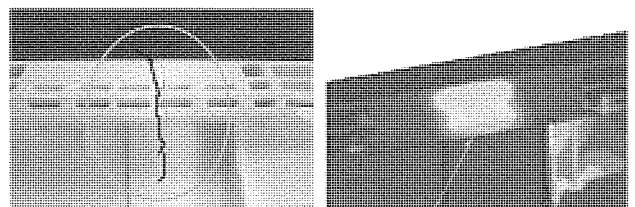


図7. PS樹脂の負荷応力-破断時間特性



(a) フック部に発生したクラック (b) フック部で発生する引張応力

図8. フック部のクラックと応力解析結果

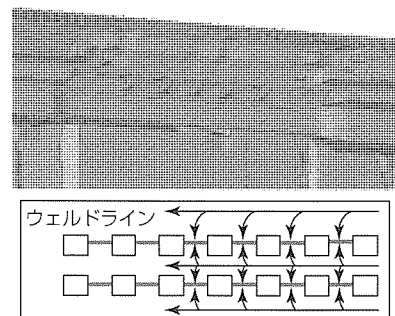
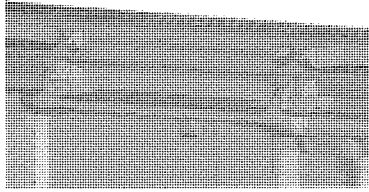
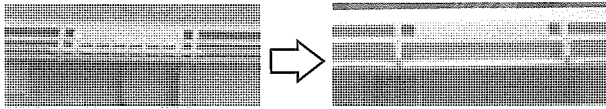


図9. フック部の樹脂の配向と流動挙動



フック部の樹脂配向と樹脂の流動挙動

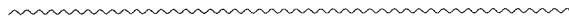
図10. フック補強構造の変更

縮に起因したひげや反りの予測など解析精度の向上や、さらには金属製の他部品を樹脂で封止をしたり、一体化するいわゆるインサート成形などの3次元的な樹脂流動の解析が可能となり、事前検討できる範囲が広がりつつある。一方で、成形プロセスの支配現象である樹脂を流動させて固化するという過程において、プラスチックは流動方向やウ

ェルドにより物性値に大きなばらつきや異方性が発生しやすく、使用時に思わぬ不具合が発生するケースが多い。3次元解析の真の利点は、これらを高精度に解析して、構造解析と上手に連携させて解析を進めることにより、使用時の環境条件や負荷荷重を与えた解析が容易になり、製品設計や金型設計の段階で、成形品の信頼性や品質を考慮した設計が可能となることである。

#### 参考文献

- (1) プラスチック成形加工学会, 第47回講演会「3次元射出成形CAE」テキスト (1999)
- (2) 山部 晶, ほか: 射出成形CAE専門委員会活動報告—各委員による解析の実施と成形実験との比較検討—, 成形加工, 14, No.11, 690~705 (2002)
- (3) 大塚弘己: CAE, 成形加工, 14, No.7, 416~419 (2002)



# プラスチックの自己循環 マテリアルリサイクル技術

高木 司\* 松尾雄一\*\*\*  
岩田修一\* 藤田章洋†  
井関康人\*\*

Material Recycling Technologies for Closed-Loop Recycle System of Plastics

Tsukasa Takagi, Syuichi Iwata, Yasuto Iseki, Yuichi Matsuo, Akihiro Fujita

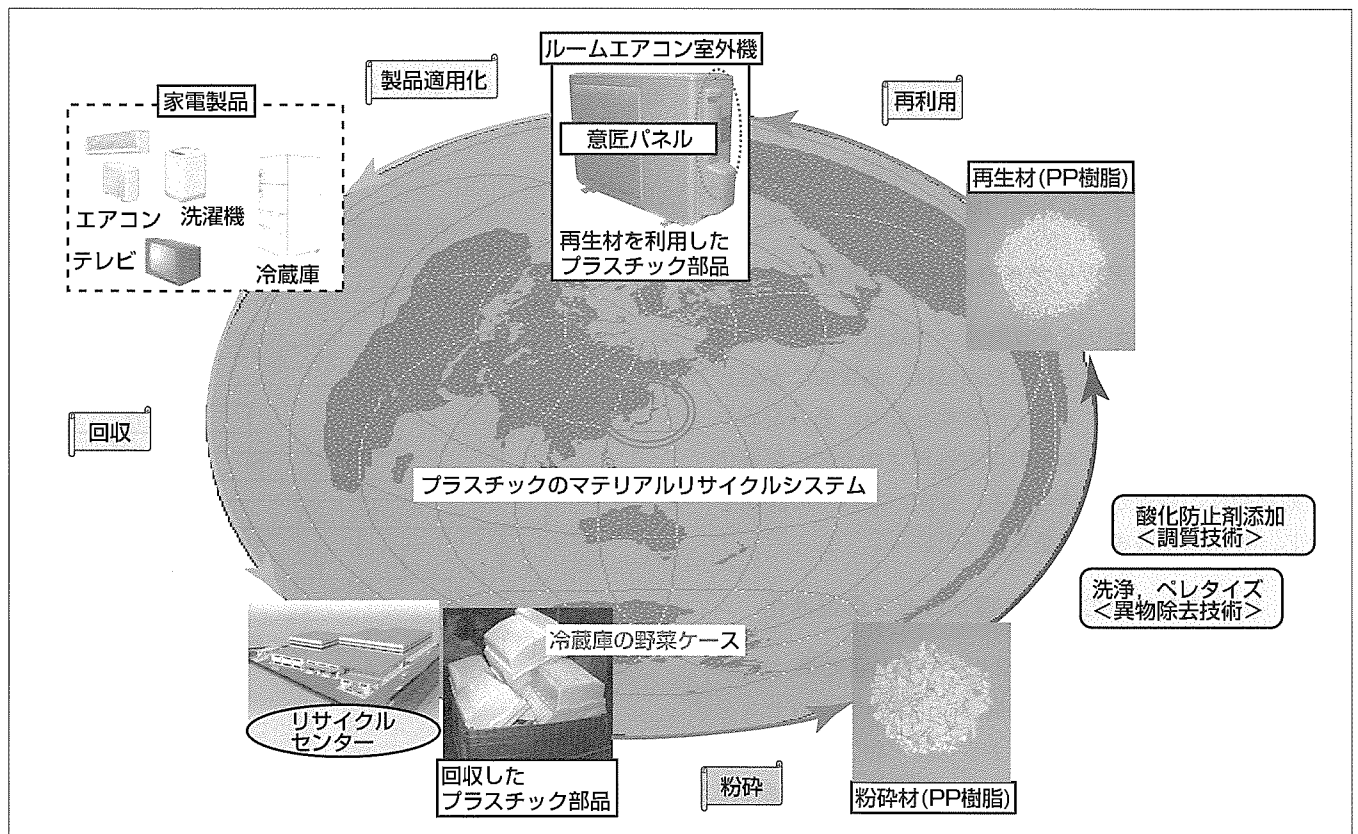
## 要 旨

2001年から施行された家電リサイクル法により、家電製品4品目に再商品化が義務付けられた。三菱電機においても、再商品化率の引き上げに対応するため、家電リサイクルセンターに回収された使用済み家電製品に含まれるプラスチック部品の自社内自己循環型マテリアルリサイクル技術の開発を進めている。

プラスチックのマテリアルリサイクル技術を確立しリサイクル材の製品適用拡大を図るためには、品質的に安定したリサイクル材を製造することが重要となる。そのための課題として、①リサイクル材の再生処理プロセスの最適化②長期信頼性の確保が挙げられる。特に、リサイクル材を製品に適用する場合は、適用先部品の意匠度合い、すなわ

ち、許容異物量と要求物性を明確にする必要がある。

本稿では、使用済み冷蔵庫の野菜ケースリサイクル材(ポリプロピレン樹脂)を用いた製品適用化を説明する。製品適用化に向けてリサイクル材の再生処理プロセスを最適化するために、リサイクル材に含まれている異物量を定量化し、品質(機械的物性)と異物量の相関を求め、機械的物性のばらつき度合いでリサイクル材の品質安定性を判断し、各再生処理工程の異物除去に対する寄与度を求めた。リサイクル材の長期信頼性は、酸化防止剤等の添加剤を付与することにより、現行材相当の長期信頼性を確保した。以上の検討により、使用済み冷蔵庫の野菜ケースリサイクル材を、エアコン室外機の意匠パネルに適用することができた。



## プラスチックの自己循環マテリアルリサイクル

使用済みプラスチックの自社内自己循環システム構築のために、プラスチックのマテリアルリサイクル技術の確立に必要な製品・材料設計から再生処理プロセス、品質評価・管理技術に至るすべての開発を行っている。このシステムの確立により、自己完結型の循環システムが実現できる。



## 1. ま え が き

2001年から施行された特定家庭用機器再商品化法(通称:家電リサイクル法)により、家電製品4品目(冷蔵庫、洗濯機、エアコン、テレビ)に再商品化率50~60%が義務付けられている。2007年ごろには、再商品化率の引上げが検討されている。また、ユーザーの環境保護意識はますます高まっており、環境を配慮した商品の開発が急務となっている。再商品化率引上げに対応するためには、樹脂部品のリサイクルは不可欠である。リサイクル方法(マテリアル、ケミカル、サーマル、フィールドストックリサイクル)の中でも、マテリアルリサイクルはコスト、環境負荷の点からも優位な方法である。

当社においても、千葉県市川市東浜にある東浜リサイクルセンター(㈱ハイパーサイクルシステムズ)に回収された使用済み家電製品に含まれるプラスチック部品のマテリアルリサイクル技術の開発を進めている。回収されたプラスチック材料は、回収や分別のしやすさの観点から、樹脂種が既知で手解体可能な部品から回収される材料と手解体困難で破碎工程を経て回収される材料に分類される。前記の手解体可能な部品から回収される材料は、手解体困難で破碎工程を経て回収される材料に比べて、回収方法が簡便であること、異物量が少なく、異物の発生源が特定しやすいこと、異種樹脂の混入が少ない等の利点が挙げられ、良質なリサイクル材として取り扱うことができる。したがって、自社内での自己循環型マテリアルリサイクルを実現するには、回収される樹脂の約1割を占める手解体可能な樹脂部品のマテリアルリサイクル技術の確立は不可欠である。

## 2. マテリアルリサイクル技術の課題

プラスチックのマテリアルリサイクル技術を確立しリサイクル材の製品適用拡大を図るためには、品質的に安定したリサイクル材を製造することが重要となる。そのための課題として、①リサイクル材の再生処理プロセスの最適化②長期信頼性の確保が挙げられる。今回、これらの課題を解決し、製品適用技術の開発を行った。

## 3. リサイクル材の再生処理プロセスの最適化

### 3.1 再生処理工程別のリサイクル材物性改善効果

開発ターゲットとなる部材に最適な再生処理プロセスを決定するためには、異物混入による意匠・物性の低下と、生産効率とのバランスをとる必要がある。今回、評価した材料は、東浜リサイクルセンターで回収された使用済み冷蔵庫の野菜ケース材であり、材質はポリプロピレン(Polypropylene:PP)樹脂である。回収は、各社の使用済み冷蔵庫が混在した状態で実施し、冷蔵庫163台分の野菜ケースを回収した。

今回検討したリサイクル材の再生処理プロセス図を図1に示す。簡単に再生処理プロセスを解説すると、使用済み冷蔵庫から野菜ケースを回収する回収工程、回収した野菜ケースを破碎する破碎工程( $\phi 15\text{mm}$ )、水を用いて洗浄する洗浄工程、タンブラーを用いて材料の均一化を行う攪拌(かくはん)工程、二軸押出機を用いてペレット化するペレタイズ工程、押出機のダイに金網メッシュをかませて異物除去を行うメッシュスクリーン工程からなる。

各再生処理工程を組み合わせると、再生処理プロセスの異なる6種類のリサイクル材(フレーク及びペレット)を得た。その中の、フレークB及びペレットFの外観を図2に示す。

各再生処理工程の組合せから得た6種類の材料の機械的特性(引っ張り、曲げ、衝撃特性)を、表1~表3に示す。また、リサイクル材の比較として、当社野菜ケース現行材の評価も併せて行った。

材料の強度を示す引っ張り降伏強度及び曲げ強度は、再生処理プロセスに関係なく、ほぼ同等の値を示したが、材料の靱性(じんせい)を表す引っ張り破断伸びと衝撃強度は、各再生処理プロセスを経ることにより、物性の改善が見られた。例えば、洗浄工程の効果は、ペレットEとF及びフレークAとBの比較から、靱性が約1.3倍(引っ張り破断伸び:1.2倍、衝撃強度:1.5倍)改善された。また、メッシュスクリーン工程を含むペレタイズ工程の効果は、フレークAとペレットDの比較から、靱性が約1.9倍(引っ張り破断伸び:1.4倍、衝撃強度:2.4倍)改善された。しかし、攪拌工程の効果は、ペレットDとEの比較から、靱性面の改善は見ら

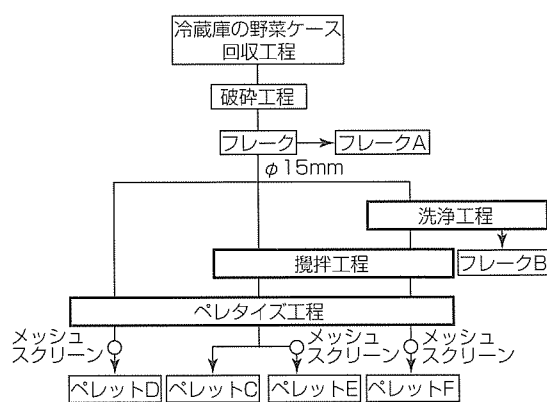


図1. リサイクル材の再生処理プロセス

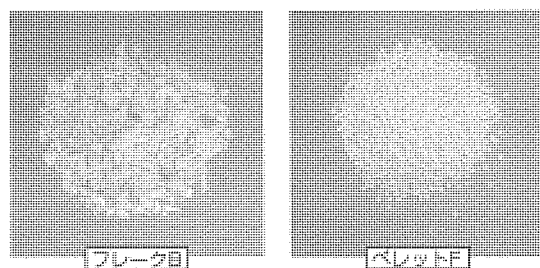


図2. リサイクル材の外観

れず、メッシュスクリーン工程単独の効果は、ペレットCとEの比較により、韌性が約1.2倍(引張り破断伸び:1.2倍、衝撃強度:1.1倍)の改善のみであった。以上の結果、韌性改善に有効な再生処理プロセスは、メッシュスクリーン工程を含むペレタイズ工程、洗浄工程の順となった。両方の工程を経たペレットFの韌性が最も高く、当社現行材に近い値となった。

リサイクル材の品質ばらつきを把握するために、各機械的物性の変動係数(N=20, 表1~表3)を求め、物性のばらつき度合いで評価した。リサイクル材、現行材ともに、物性のばらつき度合いは、強度は小さく、韌性は大きくなった。リサイクル材と現行材を比較すると、強度はリサイクル材、韌性は新材のばらつき度合いが大きい傾向にある。一般的に、異物が存在した場合、異物が破壊の起点になり、物性のばらつき度合いは、強度で大きく、韌性で小さくなることが予想され、リサイクル材と現行材の違いは、これにより生じたと考えられる。ペレットFのばらつき度合いは、現行材に近く、この結果からも異物が除去されていると予想される。

表1. リサイクル材の引張り特性

| 材料    | 引張り特性     |            |
|-------|-----------|------------|
|       | 降伏強度(MPa) | 破断伸び(%)    |
| フレークA | 27(1.8)   | 10.5(12.0) |
| フレークB | 28(1.4)   | 10.9(13.8) |
| ペレットC | 28(0.7)   | 11.0(17.0) |
| ペレットD | 28(1.0)   | 15.0(10.9) |
| ペレットE | 28(0.7)   | 13.3(10.1) |
| ペレットF | 28(0.6)   | 17.4(13.3) |
| 現行材   | 30(0.3)   | 23.9(17.9) |

※( ): 変動係数(%)

表2. リサイクル材の曲げ特性

| 材料    | 曲げ特性       |         |
|-------|------------|---------|
|       | 弾性率(MPa)   | 強度(MPa) |
| フレークA | 1,750(3.8) | 39(1.2) |
| フレークB | 1,850(1.4) | 40(1.5) |
| ペレットC | 1,560(0.5) | 38(0.5) |
| ペレットD | 1,550(0.7) | 38(0.9) |
| ペレットE | 1,560(1.5) | 38(0.5) |
| ペレットF | 1,600(1.0) | 39(0.4) |
| 現行材   | 1,810(1.5) | 43(1.3) |

※( ): 変動係数(%)

表3. リサイクル材のシャルピー衝撃特性

| 材料    | 衝撃特性                      |                           |
|-------|---------------------------|---------------------------|
|       | ノッチあり(kJ/m <sup>2</sup> ) | ノッチなし(kJ/m <sup>2</sup> ) |
| フレークA | 1.6(22.3)                 | 33(16.2)                  |
| フレークB | 1.6(19.0)                 | 45(11.2)                  |
| ペレットC | 2.9(10.4)                 | 60(25.5)                  |
| ペレットD | 2.9( 9.1)                 | 78(12.0)                  |
| ペレットE | 2.8(11.7)                 | 68(17.3)                  |
| ペレットF | 4.4( 5.3)                 | 107(19.8)                 |
| 現行材   | 3.0( 6.0)                 | 147(18.8)                 |

※( ): 変動係数(%)

### 3.2 再生処理工程別の異物低減効果

再生処理プロセスの異なる6種類のリサイクル材の破断面観察による異物評価結果を、図3及び表4に示す。ここで、異物占拠率とは、二次元的に見た場合の破断面に占める異物の面積の割合と定義し、異物の混入度合いを評価する指標とした。使用済み冷蔵庫の野菜ケースリサイクル材には食物由来の多糖類及び異種樹脂であるポリスチレン樹脂とウレタン樹脂が異物として含まれており、洗浄により異種樹脂、メッシュスクリーニングにより多糖類が除去されることが分かった。ウレタン樹脂は、粉碎工程でのコンタミネーションの可能性はある。

再生処理工程による異物占拠率の低減効果は、洗浄工程で約0.6%(A-B=0.8%, E-F=0.4%), メッシュスクリーン工程を含んだペレタイズ工程で1.9%(A-D=1.9%), メッシュスクリーン工程単独で0.9%(C-E=0.9%)であった(表5)。以上の結果、異物除去に有効な再生処理プロセスは、ペレタイズ、メッシュスクリーン、洗浄工程の順となった。これは、物性改善に有効な工程とほぼ同じ結果で

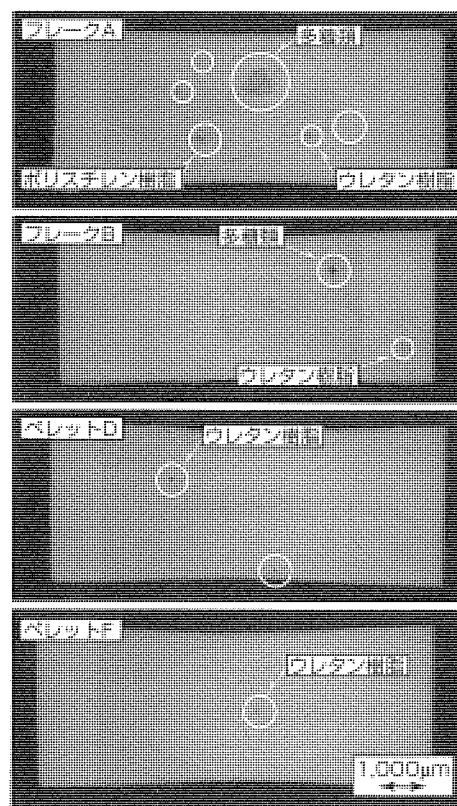


図3. 破断面観察

表4. リサイクル材の異物種と異物占拠率

| 材 料   | 異物種                 | 異物占拠率(%) |
|-------|---------------------|----------|
| フレークA | 多糖類・ポリスチレン樹脂・ウレタン樹脂 | 3.3      |
| フレークB | 多糖類・ウレタン樹脂          | 2.5      |
| ペレットC | 多糖類・ポリスチレン樹脂・ウレタン樹脂 | 2.2      |
| ペレットD | ウレタン樹脂              | 1.4      |
| ペレットE | ウレタン樹脂              | 1.3      |
| ペレットF | ウレタン樹脂              | 0.9      |

表 5. 再生処理工程別の異物除去効率

| 再生処理プロセス  | 異物占拠率の低減値(%) | 異物除去効率(%) |
|-----------|--------------|-----------|
| 洗浄        | 0.6          | 24        |
| メッシュスクリーン | 0.9          | 36        |
| ペレタイズ     | 1.0          | 40        |

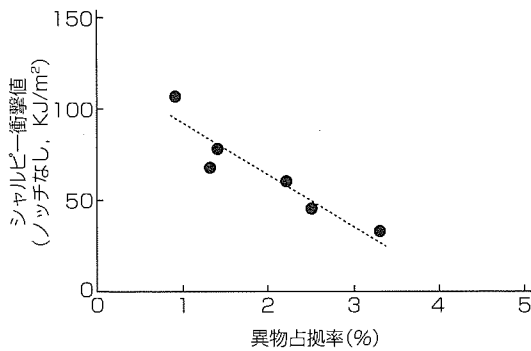


図 4. 異物占拠率とシャルピー衝撃値(ノッチなし)の関係

あり、図 4 に示すように、異物占拠率と靱性(衝撃強度)の間に相関が得られた。

#### 4. 長期信頼性(熱安定性)の確保

リサイクル材を製品適用する上で、熱安定性を確保することが重要である。元来、熱安定性を確保するために、ポリプロピレン樹脂は、フェノール系及びりん系酸化防止剤が添加されている。リサイクル材の場合、酸化防止剤が減少しており、再添加する必要がある。図 5 に酸化防止剤の添加前(回収材)と添加後(改質材)の含量を示す。

図 6 に示すように、オープン試験(120℃)の結果、改質材は、酸化防止剤を再添加することにより、現行材と同等の熱安定性を持つことが分かった。

#### 5. リサイクル材の製品適用化

リサイクル材の製品適用化に関しては、図 7 に示すプロセスを経て、製品化を行った。今回は、使用済み冷蔵庫の野菜ケースリサイクル材をエアコン室外機の意匠パネルに適用した。意匠パネルは、外観部品であり、機械的特性以外に意匠性が要求されることから、異物量、機械的特性、物性のばらつき度合いから、ペレットFのプロセスを用いた。

#### 6. む す び

使用済み冷蔵庫の野菜ケース材を回収し、再生処理プロセスを最適化し、酸化防止剤等の添加剤を付与し、エアコン室外機の意匠パネルに適用した。今後、次のターゲットを洗濯機樹脂部品とし、この技術の適用を図り、プラステ

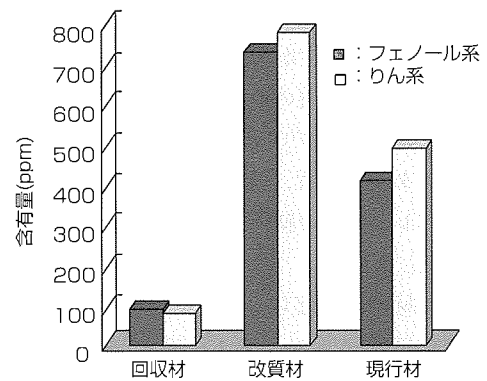


図 5. リサイクル材及び現行材の酸化防止剤の含有量

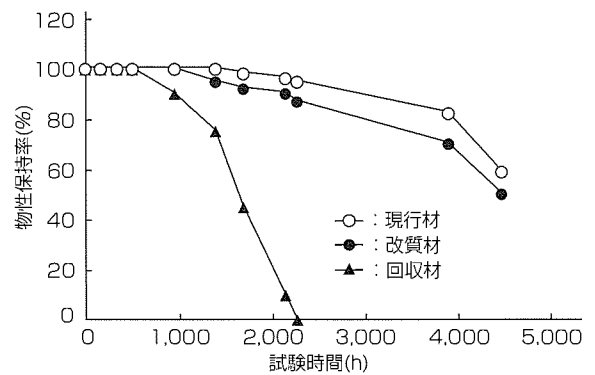


図 6. オープン試験(120℃)の結果

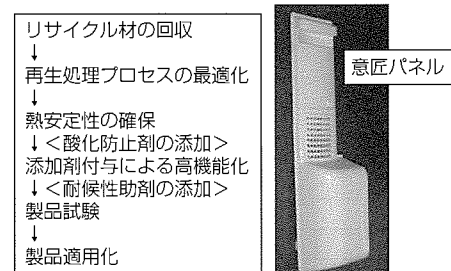


図 7. リサイクル材の製品適用化プロセスと意匠パネル

ックの自社内自己循環を拡大するために開発を進めていく。

#### 参考文献

- (1) 村上 治, ほか: プラステックのリサイクル技術, 三菱電機技報, 75, No. 5, 320~323 (2001)
- (2) 藤田章洋, ほか: 廃家電品プラスチックリサイクル材の物性評価, 成形加工シンポジア'98, 241~242 (1998)
- (3) 嶺岸明生, ほか: 廃家電プラスチックリサイクル材の物性評価, 成形加工シンポジア'02, 107~108 (2002)
- (4) 松尾雄一, ほか: 廃家電プラスチックリサイクル材の機械的特性に及ぼす再生処理工程の影響, 成形加工シンポジア'03, 35~36 (2003)

## II 次世代電子機器用の高分子材料技術への期待

Evolution in Functional Polymer Materials for Advanced Electronic Devices

越智光一  
Mitsukazu Ochi

電子機器の小型・軽量・高密度化はとどまるところを知らないように見える。我々、鉄腕アトム世代にとっては、テレビ電話はSF漫画又は小説の世界での未来技術であった。ましてや、個人用テレビ電話など、“夢のまた夢”であった。それが、今、携帯電話の機能の一つとして実現しようとしている。携帯電話での動画の送受信は、現代では当たり前前の技術として、既に社会に受け入れられている。電子機器の小型化が現代に生きるすべての人々の生活の中に深く浸透し、その生活様式を改変しつつあることの証(あか)しであろう。携帯電話やICカードなどは現代の日常生活に欠かすことのできない道具であり、今後ますます小型・軽量化が進むのは明らかである。

電子機器の小型・軽量化を更に進めていくには、新しい実装技術の開発とそれを裏付ける新しい材料の開発が不可欠である。半導体チップの封止材、アンダーフィル、フォトレジスト、積層板やパッケージ材など、電子機器の製造に利用される部品やデバイスはすべて、絶縁材料や接着剤・コーティング剤など高分子(主に、熱硬化性高分子)の塊で構成されていると言っても過言ではない。したがって、電子機器の小型化・軽量化を達成するためのキーテクノロジーの一つに、この分野で用いられる熱硬化性高分子の高性能化又は高機能化技術を挙げることができる。これまで以上の高い耐熱性又は低膨張性の高分子は封止材や回路基板の長期信頼性の向上や積層板の高集積化などへの設計を容易にするであろうし、低誘電率・低誘電損失材料は回路の高密度化を可能にするであろう。次世代電子機器の開発には、これまでにない新しい性能と機能を兼ね備えた

熱硬化性高分子の登場が待ち望まれている。

これまで、新しい熱硬化性高分子の開発は、主にそのネットワーク鎖の化学構造の改変によって行われてきた。例えば、多環芳香族環の導入による耐熱性の向上や膨張係数の低下、脂肪族鎖の導入による可撓(かとう)性の付与などである。しかし、ネットワーク鎖の集合体としての構造制御(ネットワーク鎖の配向など)は、その技術的困難さからほとんど検討されてこなかった。最近、この分野の研究が精力的に進められるようになり、これまでにない高い性能や新しい機能の発現が報告されるようになった。例えば、メソゲン基の導入によるネットワーク鎖配列の制御と高強靱性(じんせい)・高熱伝導性の達成、層状無機化合物へのインターカレーションによる高強靱化などがその例として挙げられる。ナノからメゾ領域の構造制御による高性能化又は高機能化と行うことができるであろう。このほかにも、ハロゲンフリーによる難燃化や不燃化、ハンダ代替材料など環境負荷の低減を可能とする材料もこの分野の研究から報告されつつある。

三次元ネットワーク構造を持つ高分子材料は、耐熱性や環境安定性、力学又は電気的性質など、他の材料で代替不可能な優れた性能を持つ古くて新しい高分子材料である。その工業的需要はますます増加していくと予想される。ネットワーク全体の構造を制御することはこれまで夢物語にすぎなかったけれども、その可能性の一端が見え始めている。理想的なネットワーク構造の構築により、飛躍的な高性能化と高機能化が達成されるであろう。



藤岡弘文\*

# 先進モジュール用実装材料技術の現状と展望

Survey of Activities about Jisso Materials Technology for Advanced Electronic Modules

Hirofumi Fujioka

## 要旨

家電、産業機器を支えるパワーエレクトロニクスから情報通信インフラ、携帯電話などのIT機器に至る様々な分野で、電子機器のモジュール化が進展している。モジュールは複数の半導体チップや受動態部品を組み合わせることで高度な機能を実現した電子機器であり、用途に応じて様々なモジュールが開発され、小型化・高機能化・低価格化のニーズにこたえてきている。

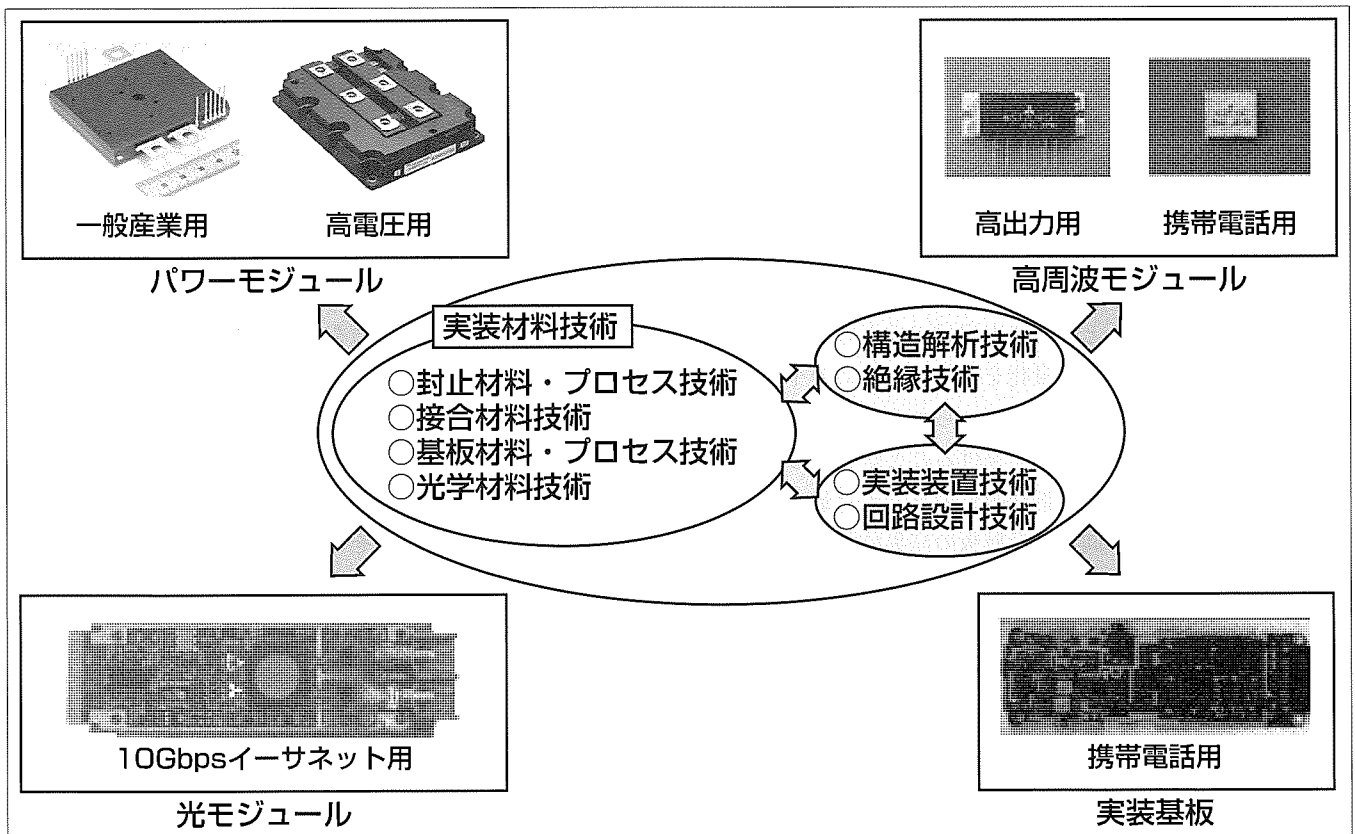
電子機器モジュールの組立て技術をモジュール実装技術と称しているが、その中には回路技術、絶縁技術、熱・機械構造設計技術、材料・プロセス技術、組立て装置技術など幅広い要素技術を包含している。近年のモジュールの小型・高密度化の流れの中で、発熱密度の増大、使用環境の多様化、EMI(Electro Magnetic Interference)対策、環境

適合性などの観点から実装技術がモジュールの性能、信頼性を左右するようになってきている。

三菱電機では家電・産業用パワーモジュール、情報通信用光モジュール、携帯電話・衛星通信用高周波モジュールなど幅広いモジュール製品を製造しているが、モジュール実装技術がこれらの製品を支えている。

当社の先端技術総合研究所においても、実装材料・プロセス技術を中心に、絶縁技術、熱・機械構造設計技術などのモジュール実装要素技術の開発を推進し、現状のモジュール製品に寄与するとともに、将来の製品動向を見据えて、次世代の実装要素技術の開発に取り組んでいる。この特集では、モジュール用実装材料技術を中心に最近の研究成果の一端を述べる。

特集 II



## 先進モジュール製品とそれを支える実装要素技術

実装材料・プロセス技術は、絶縁技術、熱・機械構造設計技術などと連携し、当社モジュール製品の小型化・高機能化・低価格化、信頼性向上に寄与している。

## 1. ま え が き

当社では、家電・産業用パワーモジュール、情報通信用光モジュール、携帯電話・衛星通信用高周波モジュール、各種電子制御ユニットなど幅広いモジュール製品を製造している。これらのモジュール製品は半導体チップ、受動態部品、回路基板、外部取り出し端子などで構成されており、接合材料、封止材料、基板材料などの実装材料が用いられている。モジュールの小型化・高機能化・低コスト化・環境適合性・信頼性向上などのニーズに対応してモジュール構造の新規開発が進められており、それに伴い、新たな実装材料・プロセスも投入されている。

本稿では、先進モジュール製品の全体動向と課題を概説するとともに、当社のモジュール用実装材料・プロセス技術への取り組みと今後の展望について述べる。

## 2. モジュール製品の動向と課題

図1に各種モジュール製品における実装構造の動向と課題を示す。

家電製品分野でのインバータ化の普及、ハイブリッド自動車市場の立ち上がりなどの背景から、パワーモジュールの適用分野が拡大している。それに伴い、小型・低コスト化が進展している。従来のパワーモジュールはパワー半導体チップを実装したセラミック基板、金属芯(しん)基板をケースに収納しシリコンゲル材料で封止したケース構造が主流であったが、生産性が高く、低コスト化メリットもある樹脂モールド構造が家電用小容量モジュールから順次適用が拡大している。この構造は自動車用・産業用などの容量の大きな製品への展開も期待されているが、樹脂モールド構造で放熱性をいかに確保していくかが大きな課題であり、低コストでかつ高熱伝導性を持つ実装材料の開発が重要である。また、将来的にはパワー半導体チップの動作温度向上(125℃→150~175℃)、SiCパワー半導体の適用などの動向を踏まえ、モジュール用材料の耐熱性向上も今

後の大きな課題である。

携帯電話に代表される移動体通信機器、基地局、衛星通信機器や車載用ETC(Electronic Toll Collection)、衝突防止ミリ波センサなどではGHz帯の高周波モジュールが用いられている。また、情報通信容量の増大に伴い、光通信ネットワークインフラが整備され、この中に光送受信モジュールが適用されている。ITバブルの崩壊で光通信機器分野の需要は低迷しているが、トラフィック需要は確実に伸びており、2005年以降には回復すると期待されている。FTTH(Fiber To The Home)の普及も進んでいる。このような高周波、光モジュールに使用されるデバイスはGaAsなどの化合物半導体が多く、耐湿信頼性が低いため、モジュールではセラミック/金属による気密封止構造を採用する人が多い。しかしながら、民生用途が拡大する中、小型・低コスト化のニーズが強くなり、携帯電話などの周波数帯の低い高周波モジュール製品、低出力の光モジュール製品から樹脂封止構造が適用されている。今後、より高周波数帯の製品及び高出力製品へも簡易気密構造、非気密モールド構造が広がるものと予想される。これらのモジュールの回路基板としては低温焼成セラミック基板(Low Temperature Co-fired Ceramics: LTCC)や有機基板が用いられているが、GHz帯の高周波領域やGbpsクラスの高速度伝送での低伝送損失化が求められており、基板材料からの低損失化アプローチも重要である。また、小型化の要請の中で基板内に受動態部品や能動部品を内蔵する技術の適用も、今後、期待されている。

携帯電話、カメラモジュールなどの民生用電子機器では、小型・薄型化の動向の中で、高密度実装技術が進展している。高密度実装のためCSP(Chip Scale Package)、BGA(Ball Grid Array)などのリードレス部品の採用が促進されており、従来のサブトラクト基板より高密度配線が可能なビルドアップ基板が用いられてきている。今後、より小型・薄型化に向け、前述の部品内蔵基板の採用も期待されている。また、今後、電子機器はデジタル信号の高速化、バス配線数の増大に伴うクロストークノイズ対策、帯域限界などの問題が生じてくると予想される。これらの問題を解決できる手段の一つとして、電磁ノイズの影響がなく高速信号伝送が可能な光配線技術と従来の電気回路技術を融合した光電気複合実装技術も将来技術として検討され始めている。

各種モジュール製品の共通課題として、環境問題への対応も重要である。特に、水銀、カドニウム、鉛、六価クロム、特定臭素難燃材などの有害物質の使用規制(RoHS規制)が2006年7月から施行されるが、これに対する対応が緊急の課題である。実装技術分野では、これまでSnPb系共晶はんだが接合材料として多用されてきたため、鉛フリーはんだへの切換えが最優先課題である。当社では、2005

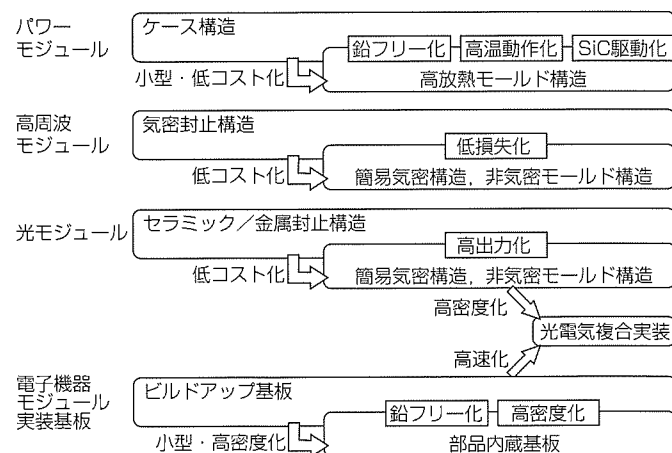


図1. 各種モジュール製品における実装構造の動向と課題

年12月までに全製品の鉛フリー化を達成する予定である。携帯電話などでは、前倒しで鉛フリーはんだの適用が始まっている。

### 3. 先進モジュール実装材料技術への取り組みと展望

モジュール実装における主要な材料は封止材料、接合材料、回路基板材料であり、これらの実装材料への取り組み状況と今後の展望について概説する。

各種モジュールの小型・低コスト化の流れの中で、樹脂封止構造の適用が進行しているが、モジュールの性能、品質信頼性を確保する上で、封止樹脂材料の役割は大きい。ヒートサイクル、耐湿、高温保存などのモジュール信頼性の確保に加えて、パワーモジュールでは高電圧印加に対応したチップ動作温度での電気絶縁性能、高周波モジュールでは低損失化に対応した低誘電率特性、光モジュールではレーザ波長での透明性など、モジュール性能特有の特性が封止樹脂に要求される。これらの課題解決に向け、チップパシベーション膜材料、封止樹脂両面からの研究開発を絶縁技術、熱・機械構造解析技術と連携して進めている。また、樹脂封止構造で放熱性確保も重要な課題であり、モジュール実装構造にマッチした高熱伝導性材料の開発にも注力している。今後の大容量・高出力モジュール製品への樹脂封止構造拡大に向け、封止樹脂、パシベーション膜材料、高熱伝導性材料の開発に注力していく。

モジュール実装工程では、チップダイボンド、ワイヤボンド/バンプ接合、受動態部品のはんだ付けなど多くの金属、導電性樹脂による接合が行われている。前述のようにRoHS規制に対応した鉛フリーはんだ材料の適用が緊急の課題である。Sn-Ag-Cu系などの鉛フリーはんだは従来のPb-Sn共晶はんだより機械的強度特性が劣るため、接

合信頼性を確保できるはんだ材料組成、基板ランド表面処理などの技術を構造信頼性設計技術と合わせて開発している。

回路基板分野では、高周波モジュール、電子機器モジュールの高周波数化、信号伝送の高速化・小型化に対応できる技術として、基板材料の低損失化、受動態部品内蔵基板技術の開発を進めている。特に、部品内蔵基板技術は大幅な小型化が実現できる技術であり、内蔵部品の高容量化、容量ばらつきの低減が可能な部品内蔵用材料・プロセスの開発に取り組んでいる。しかしながら、部品内蔵基板では、従来の基板回路設計が適用できないため、部品内蔵基板に対応した回路設計技術の開発も重要である。また、将来的には光回路と電気回路を複合化させた技術も登場すると想定され、光導波路技術も将来技術として検討している。

今後とも、モジュール製品の新規実装構造開発に合わせて、材料技術として製品開発にタイムリーに貢献するとともに、実装構造、実装プロセスを新規提案できる新しい実装材料開発を推進していく。

### 4. むすび

当社におけるモジュール製品の実装構造の動向とそれに対応した実装材料技術の取組状況、今後の展望について概説した。これまで、実装材料は各モジュール分野で種々の貢献を果たしてきているが、回路設計技術、熱・構造設計、絶縁技術、実装装置技術などの実装関連技術と相互に連携してきた成果であり、今後とも、関連技術との密な連携を実施し、総合力により当社のモジュール製品を持続的に成長させていく。また、実装関連技術はモジュール製品だけでなくあらゆる電子機器の共通基盤技術であり、要素技術の向上、刷新により当社の電子機器製品に貢献していく。



# パワーモジュール封止技術

多田和弘\* 佐々木太志†  
 中島 泰\*\*  
 鹿野武敏\*\*\*

Molding Technology for Power Modules

Kazuhiro Tada, Dai Nakajima, Taketoshi Shikano, Taishi Sasaki

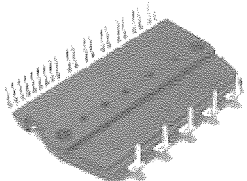
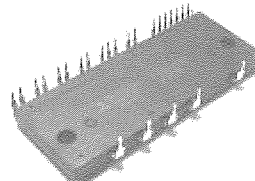
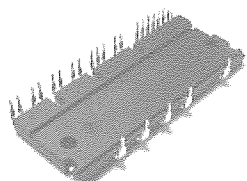
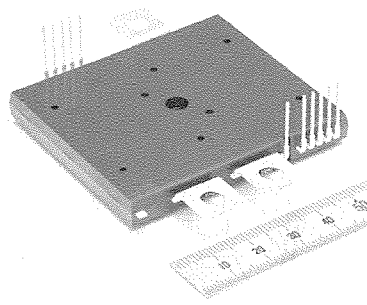
## 要 旨

近年、省エネルギーの観点から、エアコンや冷蔵庫など家電分野で、インバータ化が急速に広まっている。三菱電機のトランスファモールドタイプのパワーモジュールは、小型・低コストのメリットを生かし、家電分野のインバータ化の普及に貢献している。当社では、現在600V・50A以下の容量クラスに対して、DIP-IPM (Dual In-Line Package Intelligent Power Module) を量産展開している。

このDIP-IPMは、チップで発生する熱を高熱伝導性のトランスファモールド用の封止樹脂からなる絶縁層を介して放熱する構造になっている。しかし、この封止樹脂には流動性が必要で、封止樹脂の放熱性を向上させる無機充填(じゅうてん)材の高充填化には限界がある。したがって、

より高い放熱特性が要求される大容量パワーモジュールのトランスファモールド化は困難な状況にある。

今回、更なる大容量にこたえるため、新絶縁構造を持つ放熱特性の優れたパッケージを開発した。このパッケージは、従来の高熱伝導性封止樹脂に比べ優れた熱伝導性を持つ絶縁シートを用いることにより、封止樹脂の高熱伝導性を不要としたことが特長である。このパッケージ内部には、熱を横方向に拡散し、放熱面積を広げる銅ヒートスプレッドを持っている。封止樹脂は銅ヒートスプレッドと熱膨張係数を合わせたものを適用した。上記の工夫により、高いヒートサイクル信頼性を得ることができた。今後、産業用や自動車用のモータ駆動向けに展開する予定である。

|              | DIP-IPM  |  |   |
|--------------|--|--|---|
|              | (a) 小型DIP  | (b) 大型DIP  | (c) 大容量DIP  |
| 外観           |   |  |  |
| 容量           | ~15A/600V  | ~25A/600V  | ~50A/600V   |
| 高放熱タイプ新パッケージ |  |  |   |
| 外観           |  |  |   |
| 容量           | ~300A/600V   |  |   |

## 現在量産中のDIP-IPMと開発した高放熱タイプ新パッケージ

上段のDIP-IPMは、放熱のため、封止樹脂に高熱伝導性のものを採用している。一方、開発した新パッケージは、高熱伝導性の絶縁シートを採用した構造により、大容量のパワーモジュールのトランスファモールド化が可能となった。

1. ま え が き

当社は、1997年にトランスファモールドタイプのDIP-IPMの量産化を始めた。パワーモジュールのトランスファモールド化は、ICパッケージでの技術を応用したもので、生産性が非常に優れている。ただし、通常のICパッケージのトランスファモールドと比較すると以下の技術課題がある。

- (1) 封止樹脂に放熱特性が必要(熱伝導性)
- (2) 封止樹脂に高電圧が印加される(絶縁性)
- (3) パッケージが大型である(成形性)

上記のような課題があるため、ICのトランスファモールドとは異なる封止材料・プロセスを用いて量産している。上記(1)と(2)は、封止樹脂には、樹脂厚みが薄ければ放熱特性は向上するが、樹脂厚みが薄いと絶縁耐性が低くなるというトレードオフの関係にある。したがって、封止樹脂の特性を考慮して、パッケージの設計を行っている。これらのパワーモジュールは、主に600V・50A以下の比較的小容量クラスで、エアコン、冷蔵庫、洗濯機等のインバータ家電に多く使用されている。また、最近では、産業用や自動車用のモータ駆動向けに、従来のケースタイプのパッケージとは異なるトランスファモールドタイプの600V・300Aクラスまでに適用可能な高放熱モールドタイプのパッケージを開発した。

本稿では、これら従来のDIP-IPM及び新規開発した高放熱モールドタイプのパッケージに用いている封止材料について述べる。

2. DIP-IPMパッケージの構造と封止樹脂

現在量産を行っている小型DIP-IPM、大型DIP-IPM、大容量DIP-IPMの構造を図1に示す。いずれのパッケージも、銅リードフレーム上にパワーチップをはんだダイボンドした後、ワイヤで電氣的に接続し、封止樹脂で全体をモールドしたものである<sup>(1)(2)</sup>。

小型DIP-IPMは、モールド技術によりヒートシンクをなくし、小型化した構造となっている。

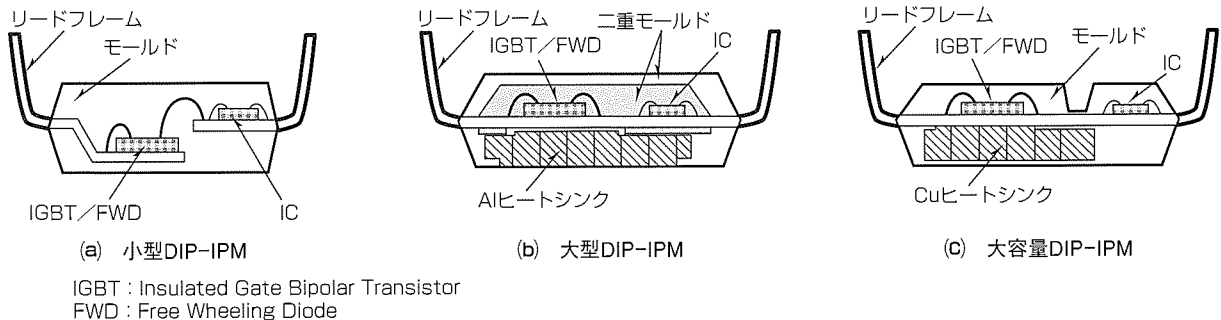


図1. 量産中のDIP-IPMの断面構造

大型DIP-IPMは、1次モールド後にアルミヒートシンクを備えて2次モールドを行っている。絶縁層は、フレームとアルミヒートシンク間に形成されている。

大容量DIP-IPMは、銅ヒートシンクを接合したフレームをモールドする構造である。絶縁層は、銅ヒートシンクの下に形成されており、銅ヒートシンクによってチップで発熱した熱を広げてから、絶縁層を介して放熱する構造となっている。このため、放熱特性を向上させることができた。

上記3種類のDIP-IPMでは、絶縁層と呼ばれる部分は、すべてトランスファモールド用の封止樹脂で形成されている。しかも、この部分は、チップで発生する熱を放熱するルートでもある。図2に、一般的な封止樹脂の材料構成を示す。封止樹脂の中身の大半は無機充填材が占めており、この充填材が封止樹脂の物性に大きく影響する。表1に、

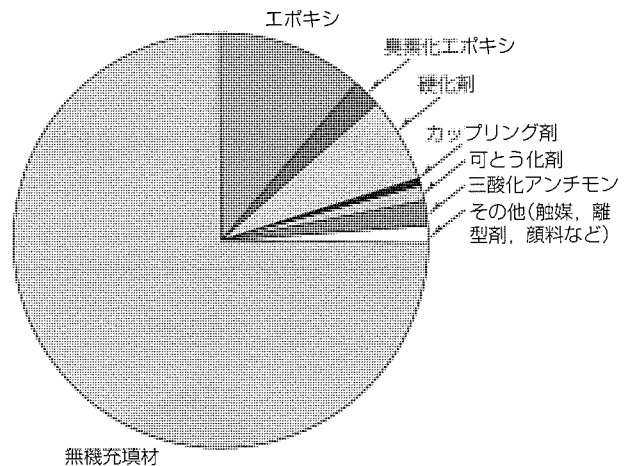


図2. 封止樹脂の構成(質量比)

表1. 充填材の種類と特性

| 充填材   |                                | 熱膨張係数<br>$\times 10^{-6} (/K)$ | 熱伝導率<br>(W/mK) | 封止樹脂としての<br>熱伝導率(W/mK) |
|-------|--------------------------------|--------------------------------|----------------|------------------------|
| 熔融シリカ | SiO <sub>2</sub>               | 0.5                            | 1              | 0.7~0.8                |
| 結晶シリカ | SiO <sub>2</sub>               | 15                             | 12             | 2.0~2.5                |
| アルミナ  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 6                              | 36             | 3.0~4.0                |
| 窒化けい素 | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | 3.2~3.7                        | 45             | 3.0~3.5                |

一般に封止樹脂に用いられている充填材の物性値とその充填材を用いた封止樹脂の熱伝導率を示す。充填材の種類が封止樹脂の熱伝導性を支配しており、パッケージの放熱性が要求されるパワーモジュールの封止には、結晶シリカ、アルミナ、窒化けい素などの高熱伝導性の充填材が使用されている。図3に、Bruggemanの理論式<sup>(3)</sup>に基づいて計算した充填材の違いによる封止樹脂の熱伝導率を示す。なお、計算式は、充填材を球状と仮定しているため、充填材の形状によって実際の値とは異なる場合がある。IC用封止樹脂の充填材である熔融シリカを用いた場合とは異なり、高熱伝導性の充填材を用いると、充填率を上げれば熱伝導性は向上することが分かる。しかし、実際には、樹脂の流動性を確保する必要があることから、充填材の充填率にも限界があり、実質的には封止樹脂の熱伝導率は表1にも示すようにせいぜい2~4 W/mK程度である。

IC用の封止樹脂には、熱伝導性が不要なことから、表に示した熔融シリカが用いられている。この熔融シリカは、高純度の珪石(けいせき)を高温で熔融して製造されており、様々な粒径をした球状のものが市販されている。熔融シリカを用いるメリットとしては、熔融シリカの熱膨張係数が非常に小さく、さらに球状で粒径のバリエーションも多いことから、封止樹脂の充填材の充填率を高められることである。したがって、熔融シリカの充填率が90wt%(約83vol%)以上であるビフェニル系の封止樹脂が市販されている。この場合、熱膨張係数の値も非常に小さくなり、チップとの熱膨張係数の差に基づく応力を小さくできるメリットがある。しかし、パワーモジュール用途には、このビフェニル系の封止樹脂は、樹脂のTg(ガラス転移温度)が低いため使用されていない。

現状では、封止樹脂に高熱伝導性を要求した場合、2~4 W/mKの熱伝導率しか得られていない。しかも、樹脂の狭間隙(かんげき)への充填性にも限界があつて、絶縁層の厚みも極端に薄くすることもできない。したがって、こ

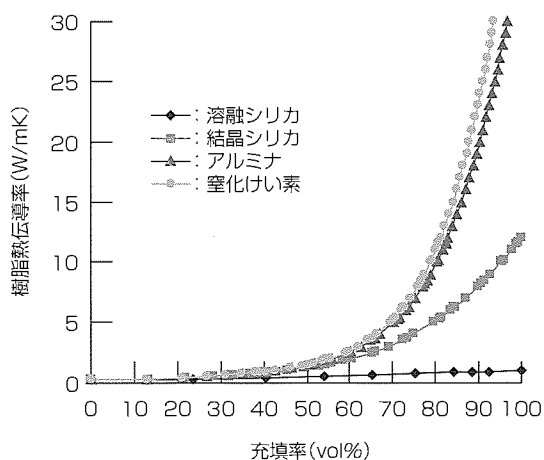


図3. 封止樹脂の充填材と熱伝導率の関係

これらのDIP-IPMは600V・50A以下の製品にしか適用されていない。

### 3. 高放熱モールドタイプのパッケージの構造

絶縁層として封止樹脂を用いるパッケージでは、50A以上の大容量化を目指すことは限界にきている。そこで、大容量化に対応するため、絶縁層にトランスファモールド用の封止樹脂を用いないトランスファモールドタイプのパッケージの開発を行った。図4に、新構造パッケージの断面構造を示す。新規パッケージは、絶縁層にはDIP-IPMに用いているトランスファ用の封止樹脂に比べ優れた放熱性を持つ絶縁シートを用いた構造にした。今回採用した絶縁シートは、トランスファ用の封止樹脂とは異なり、樹脂が流動する必要なく、DIP-IPMに用いている封止樹脂よりも高熱伝導な材料である。さらに、狭間隙に樹脂を注入する必要もないことから、DIP-IPM構造の絶縁層よりも薄くすることも可能となり、さらに放熱性(熱抵抗)が改善できた。

一方、封止樹脂は熱伝導性を必要としないため、ICパッケージと同じ熔融シリカを充填した封止樹脂を用いることが可能となった。今回のパッケージでは、チップから発生する熱を効率良く放熱するために、チップ直下に比較的厚みのある大きな銅ヒートスプレッダを設けて、熱を横方向へ拡散し、放熱面積を広げることを行っている。今回の封止樹脂は、ヒートサイクル信頼性を高めるために、この銅ヒートスプレッダの熱膨張係数とのマッチングを図る設計を行った。高熱伝導性の封止樹脂では、表1に示すように充填材の熱膨張係数が熔融シリカに比較して1けた以上大きくて、特に結晶シリカを充填した封止樹脂では、銅との熱膨張係数のマッチングをとることは不可能である。今回は、充填材として熔融シリカを用いることが可能なため、熱膨張係数のマッチングをとることができた。ヒートスプレッダ表面にディンプル加工を施すことで、封止樹脂と銅ヒートスプレッダの密着性を更に向上させた。これにより、ヒートサイクル(-40~125℃、各30分)時の銅ヒートスプレッダ/封止樹脂界面の剥離(はくり)発生が抑制され、1,000サイクル後においてもチップと銅ヒートスプレッダを接合しているはんだ層への亀裂発生を抑制することがで

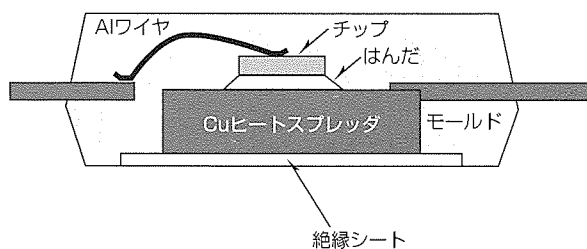


図4. 新構造パッケージの断面構造

きた。

## 4. む す び

今回、従来のDIP-IPMとは構造が異なる高放熱モールドタイプのパッケージの開発を行った。開発したパッケージは、高熱伝導性の絶縁シートを用いたことが特長で、封止樹脂も銅ヒートスプレッドとの熱膨張係数のマッチングをとることができ、高いヒートサイクル信頼性を得ることができた。

## 参 考 文 献

- (1) 篠原利彰, ほか: パワーモジュールパッケージの技術動向, 三菱電機技報, **75**, No.6, 421~424 (2001)
- (2) 川藤 寿, ほか: 大容量(30・50A/600V) DIP-IPMのパッケージ構造技術, 三菱電機技報, **77**, No.9, 579~582 (2003)
- (3) Bruggeman, D. A. G., Ann. Phys., **24**, 636 (1935)

# 高耐圧パワーモジュールパッケージの 欠陥検査技術

長谷川武敏\*  
武藤浩隆\*

Insulation Testing Technology for Package of High-Voltage Power Module

Taketoshi Hasegawa, Hirotaka Muto

## 要 旨

近年の電鉄・電力・工業などの大電力分野では、システムの小型・軽量化などの市場要求に対して、コンバータ、インバータ用のパワースイッチングデバイスは従来のGTO (Gate-Turn-off) サイリスタからHVIGBT (High Voltage Insulated Gate Bipolar Transistor) モジュールなどの新しいパワーデバイスに切り替えが進んでいる。

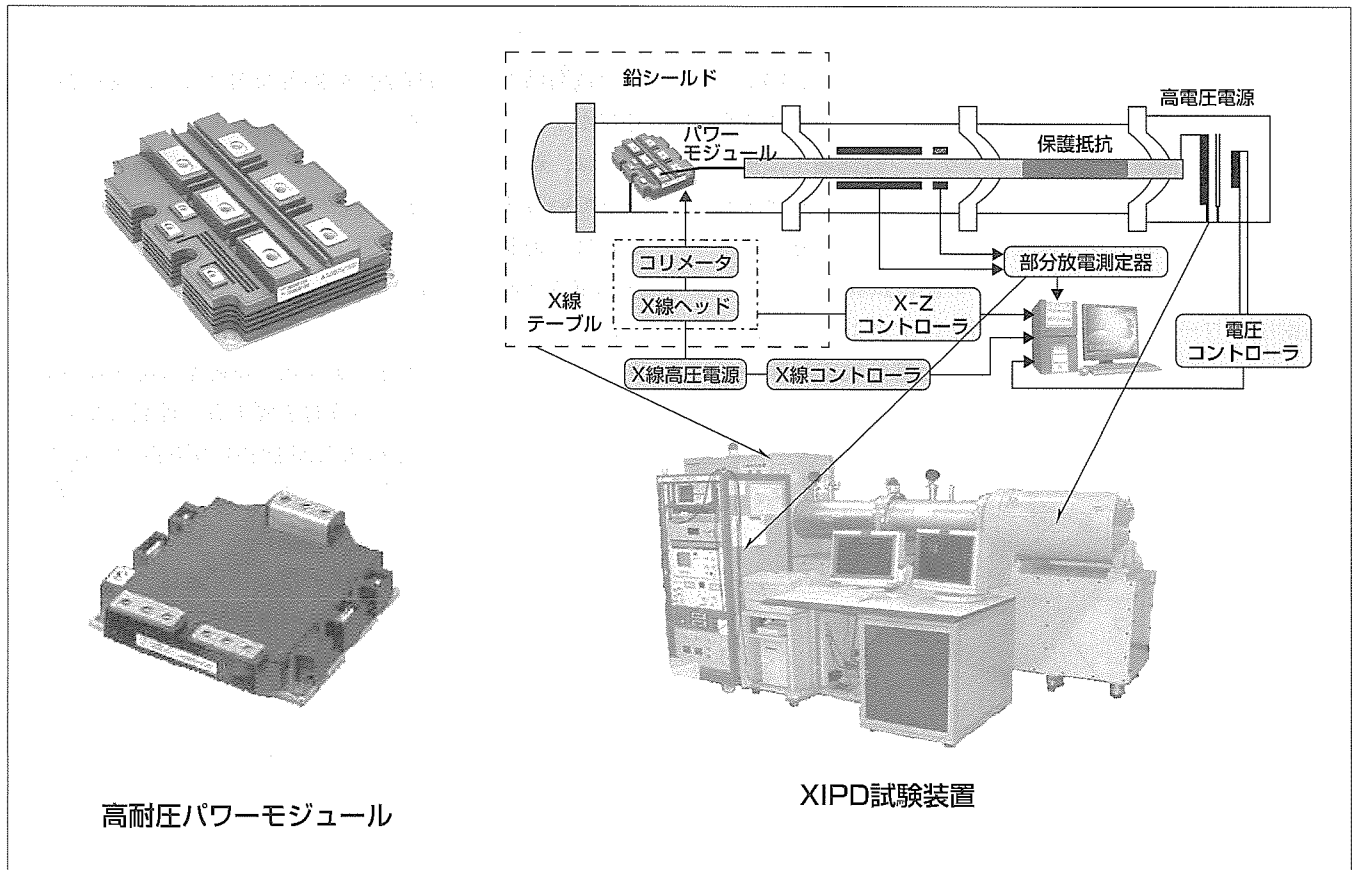
三菱電機では、4.5kV級HVIGBTモジュールの製品化が完了しているが、電鉄・産業分野において、ライン電圧3.0~4.1kVまで使用可能な6.5kV級の高耐圧IGBTモジュールの開発が進められている。これら高耐圧パワーモジュールでは、耐電圧性能のほかに耐部分放電性能も要求される。高耐圧パワーモジュールパッケージ開発において、これら

絶縁性能を備えた設計の必要性が高まっている。

部分放電は、パワーモジュールパッケージの絶縁部分に小さい空隙(くうげき)が存在すると比較的低い電圧で発生し、製品の長期信頼性に影響を及ぼす。パワーモジュールパッケージ開発において、部分放電発生源を把握することは、適切な対策を図ることができることから、製品開発のスピードアップと製品信頼性向上に対して重要である。

本稿では、電力機器絶縁物の部分放電発生源を同定するために開発したX線誘起部分放電(X-ray Induced Partial Discharge: XIPD) 試験法を高耐圧パワーモジュールパッケージに適用した結果、その有用性が得られたのでこれについて述べる。

特集  
II



高耐圧パワーモジュール

XIPD試験装置

## 高耐圧パワーモジュールとXIPD試験装置

電鉄・電力・工業などの大電力分野のインバータ装置に用いられる高耐圧パワーモジュールは、耐電圧性能とともに耐部分放電性能も要求される。XIPD試験装置は、収束したX線をパワーモジュール表面にスキャンしながら部分放電を検出するもので、放電源の同定が可能である。原因を明確化することにより適切な対策が可能となり、パワーモジュール開発のスピードアップを図ることができるとともに絶縁信頼性向上に貢献する。

\*先端技術総合研究所(工博)

## 1. ま え が き

IGBTを搭載した高耐压パワーモジュールが、新幹線を代表とする車両推進制御装置に使用されている。車両用インバータに搭載されるパワーモジュールには、1.7~4.5kV耐压のIGBTが現在使用されている。最近では、更に高耐压の6.5kVのIGBTチップ<sup>(1)</sup>を搭載した高耐压パワーモジュールが開発されている。これらパワーモジュールの絶縁性能として、耐電圧のほかに、耐部分放電性も要求される<sup>(2)</sup>。したがって、高耐压パワーモジュールパッケージ開発では、部分放電特性を考慮した設計が必要となる。

ここでは、高耐压パワーモジュールパッケージの絶縁構造と要求絶縁仕様について説明し、高耐压パワーモジュールにおける部分放電の性質と、その性質を利用したXIPD試験法<sup>(3)(4)</sup>による放電発生源を同定する方法について説明する。最後に、2~3の高耐压パワーモジュールへの適用事例について紹介し、XIPD試験法の有用性について述べる。

## 2. 高耐压パワーモジュールと絶縁試験

### 2.1 高耐压パワーモジュールの構造

図1は高耐压パワーモジュールパッケージの外観とパッケージ内部の断面構造を示す。Cu又はAlSiCのベース板上に搭載された高热伝導AlNセラミック絶縁基板にIGBT、ダイオード等のパワーチップが搭載され、Alワイヤでボンディングして回路を形成し、パッケージ外部端子に接続されている。ベース板とプラスチックケースでパッケージされた内部はシリコンゲルで絶縁封止されている。

### 2.2 パワーモジュールパッケージの絶縁試験

高耐压パワーモジュールは、図2に示すように、IEC 61287-1<sup>(2)</sup>で規定された耐電圧試験と部分放電試験が、外部端子を一括にした部分と接地電位であるベース板間に

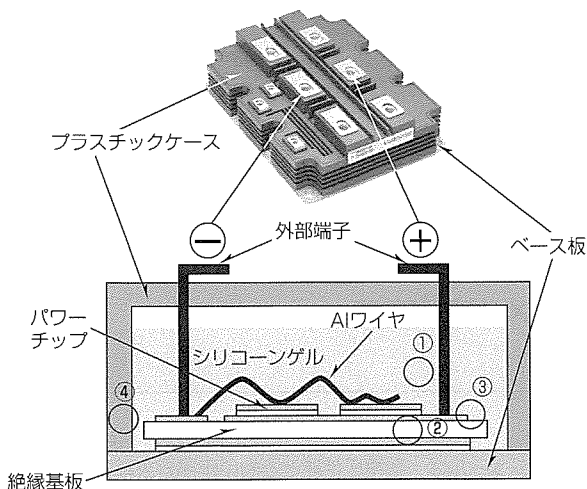


図1. 高耐压パワーモジュールの外観とパッケージ内部構造

課せられる。例えば、6.5kVのIGBTモジュールでは、10.2kVrms( $2 \times (6.5/\sqrt{2}) + 1$ )1分間の耐電圧試験が課せられる。また、部分放電試験は、前課電条件として、6.9kVrms( $1.5 \times (6.5/\sqrt{2})$ )1分間印加後、5.1kVrms( $1.1 \times (6.5/\sqrt{2})$ )30秒印加し、試験終了前5秒間に10pC以上の部分放電が発生しないこととなっている。

## 3. 部分放電発生源の同定

### 3.1 部分放電の性質

高耐压パワーモジュールパッケージにおける主な部分放電の発生源は図1に併記する以下の部位である。

- ①シリコンゲル中のボイド(空隙)
- ②セラミック絶縁基板(電極接合部、又はセラミック内部のボイド)
- ③セラミック絶縁基板とシリコンゲル界面(特に電界の高い電極端部)
- ④その他高電圧印加部(例えば、プラスチックケースの内部ボイド)

絶縁物中のボイドで発生する部分放電は電圧上昇過程の開始電圧と電圧下降過程の消滅電圧に差があり、消滅電圧は開始電圧よりも低くなる。また、絶縁物に囲まれた小さなボイド内での放電開始には、初期電子の欠乏により放電開始までに時間遅れがある。

放電開始までの時間遅れの顕著な例として、絶縁物中の球状ボイドで発生する部分放電の性質について説明する。図3は、絶縁物中に球状ボイドが内在した絶縁物間に課電されている状況を示したものである。ボイド内での放電開始には、初期電子とその電子が電子雪崩を形成するための加速電界が必要である。同図(a)は通常の状態を示すもので、ボイド内における電界の高い部分は中心部分の狭い範囲であり、ここに初期電子が存在する確率は非常に低いため、部分放電発生まで長い時間を要する。併記している部分放電特性(部分放電電荷量と印加電圧の関係)から、電圧上昇過程では非常に高い電圧を印加しないと部分放電は発生しない。その後、電圧を下降すると、低い電圧まで放電は持続する。特に、球状ボイド内の部分放電の開始には、印加電圧にもよるが、月日のオーダーの時間遅れを示す場

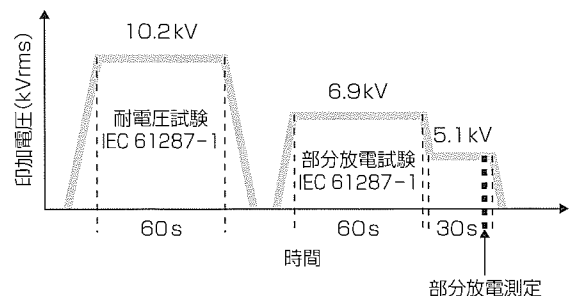


図2. IEC 61287-1における耐電圧・部分放電試験条件

合がある<sup>(5)</sup>。一方、同図(b)は、絶縁物外部からX線を照射すると、ボイド内部の気体分子を励起し、部分放電の起源である電子雪崩を生じるための初期電子が豊富に供給可能となることを示している。X線を照射しながら測定した部分放電特性は、上昇過程の開始電圧と電圧下降過程の消滅電圧がほぼ同じ電圧となる。

### 3.2 XIPD試験法の原理

以上の絶縁物中の部分放電の性質から、部分放電消滅電圧付近の電圧を印加した状態で、収束させたX線を外部から照射しながら照射位置を移動することにより、ボイド部分に照射された時に部分放電が生じるので、その照射位置からボイド、すなわち部分放電源の同定が可能となる。

図4は、X-Zテーブルを備えたX線照射装置と部分放電測定装置を組み合わせたXIPD試験システムである。試験チャンバ内にパワーモジュールを設置して高電圧が課電できる。X線源は管電圧70~200kV、管電流は5mAである。また、X線源はX-Z移動テーブルにマウントされており、その移動距離はX、Z方向とも±50mmである。しかし、照射範囲は試験チャンバの側面にある石英ガラス窓径φ100mmで制限される。X線はコリメータで集束され、供試体のパワーモジュール面において約5mmφになっている。

### 3.3 高耐圧パワーモジュールへのXIPD試験法の適用事例

#### 3.3.1 1.7kVパワーモジュール(絶縁基板電極界面の剥離)

図5は、産業用1.7kV級大電力パワーモジュール開発時の部分放電特性の一例である。放電開始電圧は390V、消滅電圧は300Vと非常に低く、放電電荷量も10nCと非常に大きい。印加電圧の設定を開始電圧と消滅電圧の間の330Vとし、収束したX線をパワーモジュール面にスキャンして放電源を同定した。その結果、IGBTチップ搭載絶

縁基板であることが分かった。さらに、測定データの解析結果から、3kPa程度の負圧ボイドであることが分かり、セラミックと電極接合部がルーズであったため、アSEMBリ中の熱ストレスでセラミックと電極の界面で剥離(はくり)が生じたことが判明した。接合強度の向上により適切な対策を施した後の部分放電特性を図に併記しているが、1.7kV級パワーモジュールに要求される耐電圧試験電圧3.4kVにおいて、部分放電電荷量は10pC以下であり高耐圧絶縁性を達成できた。

#### 3.3.2 4.5kVパワーモジュール(封止シリコンゲル中ボイド)

図6は、4.5kV級大容量パワーモジュール開発時の部分放電特性の一例である。放電開始電圧は3.5kV、消滅電圧は3.1kVである。印加電圧の設定を3.2kVとし、収束したX線をパワーモジュールにスキャンして放電源を同定した。

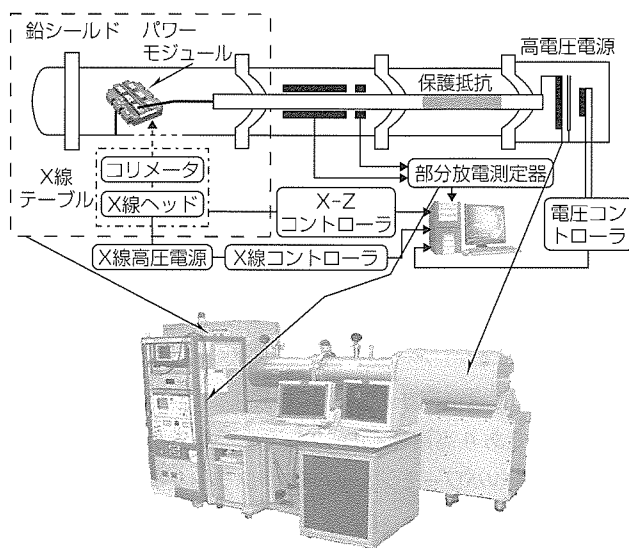


図4. XIPD試験装置の測定システム

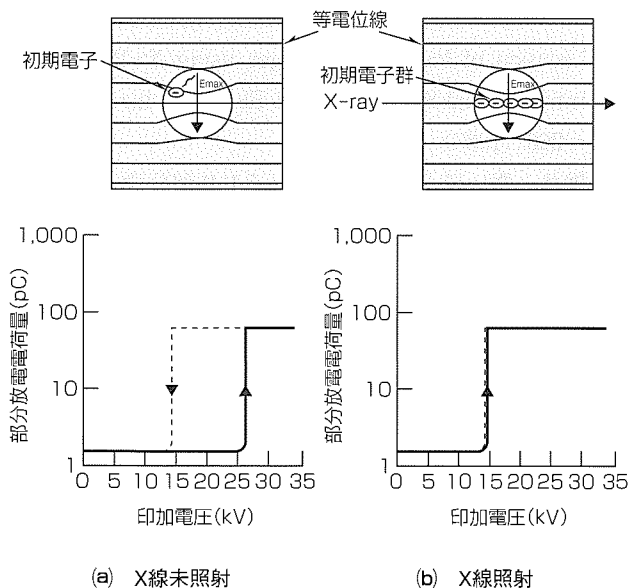


図3. X線照射による球状ボイド内の初期電子供給と放電時間遅れ

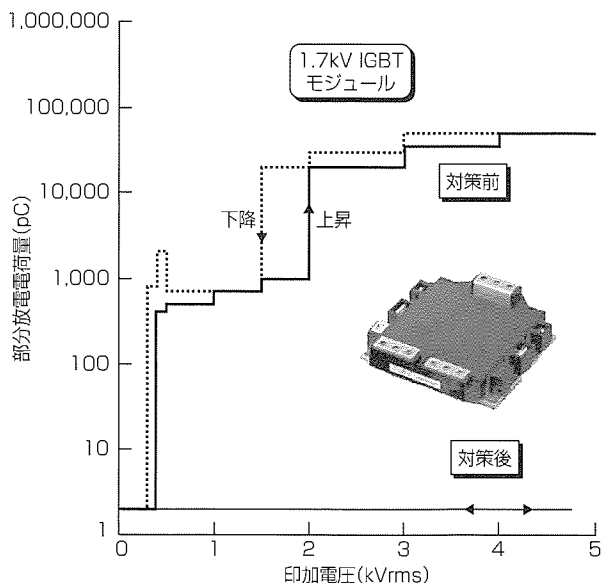


図5. 1.7kV級パワーモジュールの部分放電特性



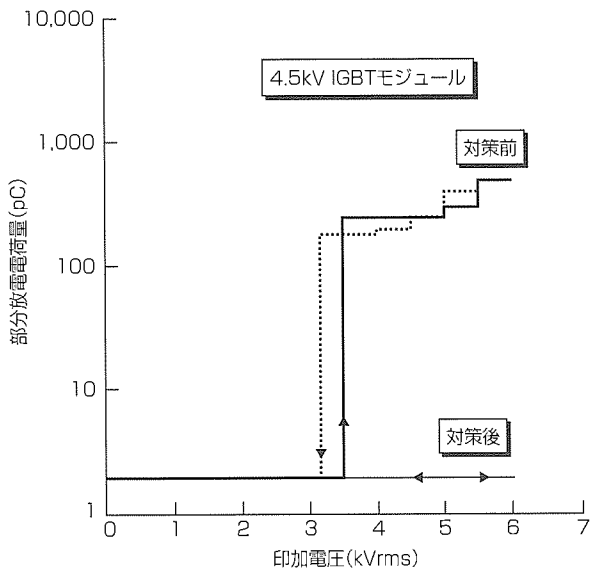


図6. 4.5kV級パワーモジュールの部分放電特性

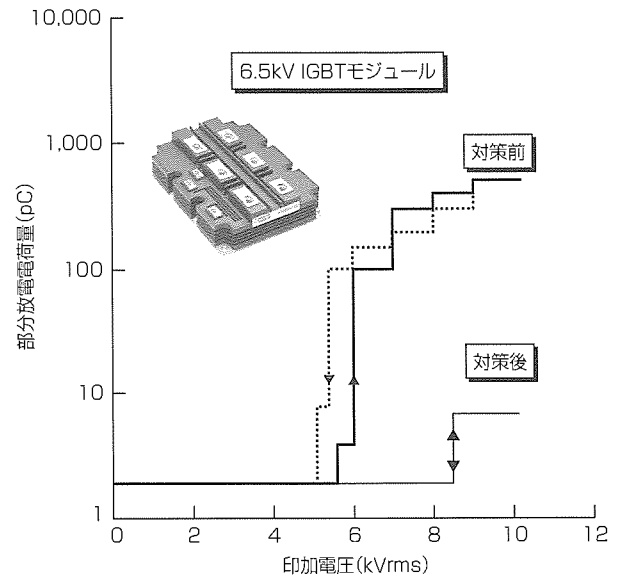


図7. 6.5kV級パワーモジュールの部分放電特性

その結果、ベース板と絶縁基板で閉塞(へいそく)された部分のシリコンゲル中ボイドであることが分かった。測定データの解析結果から、比較的大きな $\phi 4$  mmの球状ボイドであることが分かり、封止シリコンゲルのアセンブリ条件の改善が必要であることが判明し、プロセス条件の最適化により適切な対策を施した後の特性を図に併記しているが、4.5kV級パワーモジュールに要求される部分放電試験における前課電圧4.1kVにおいて、部分放電電荷量は10pC以下であり高耐圧絶縁性を達成できた。

### 3.3.3 6.5kVパワーモジュール(プラスチックケース内ボイド)

図7は、6.5kV級大容量パワーモジュール開発時の部分放電特性の一例である。放電開始電圧は5.5kV、消滅電圧は5.0kVである。印加電圧の設定を5.2kVとし、収束したX線をパワーモジュール面にスキャンして放電源を同定した。その結果、プラスチックケース内の空隙部分であることが分かった。図にはプラスチックケースの設計変更後の特性も併記しているが、6.5kV級パワーモジュールに要求される耐電圧10.2kVにおいても、部分放電電荷量は10pC以下であり高耐圧絶縁性を達成できた。

## 4. む す び

高耐圧パワーモジュールは、部分放電性能が要求されている。部分放電は、パワーモジュールパッケージの絶縁部分に小さい空隙が存在すると比較的低い電圧で発生し、製

品の長期信頼性に影響を及ぼす。本稿では、パワーモジュールパッケージの部分放電発生源を同定できるXIPD試験法について述べ、3つの代表的なパワーモジュールへの適用事例を示した。XIPD試験により、放電源の同定が可能であることが分かり、適切な対策を図ることができることから製品開発のスピードアップと製品信頼性向上に対して有用であることが分かった。

## 参考文献

- (1) 末川英介, ほか: 6.5kV級IGBT, 三菱電機技報, 77, No.9, 591~594 (2003)
- (2) IEC61287-1: Power converters installed on board rolling stock-Part 1: Characteristics and test methods (1995)
- (3) Rizzetto, S., et al.: A System for the Detection and Location of Partial Discharges using X-Rays, IEEE International Symposium on Electrical Insulation 262~266 (1988)
- (4) 碓井 修, ほか: 絶縁物中ボイドの部分放電開始に及ぼすX線照射効果, 電気学会誘電・絶縁材料研究会資料, DEI-96-52 (1996)
- (5) 碓井 修, ほか: 球状ボイドの部分放電開始に及ぼすX線照射効果, 平成7年電気学会全国大会, 359 (1995)

# 移動通信機器用はんだ接合技術

前田 晃\* 高田志郎\*  
坂本博夫\* 長嶺高宏\*\*  
松野 繁\*

Solder Joint Technology for Mobile Communication Terminals

Akira Maeda, Hiroo Sakamoto, Shigeru Matsuno, Shiro Takada, Takahiro Nagamine

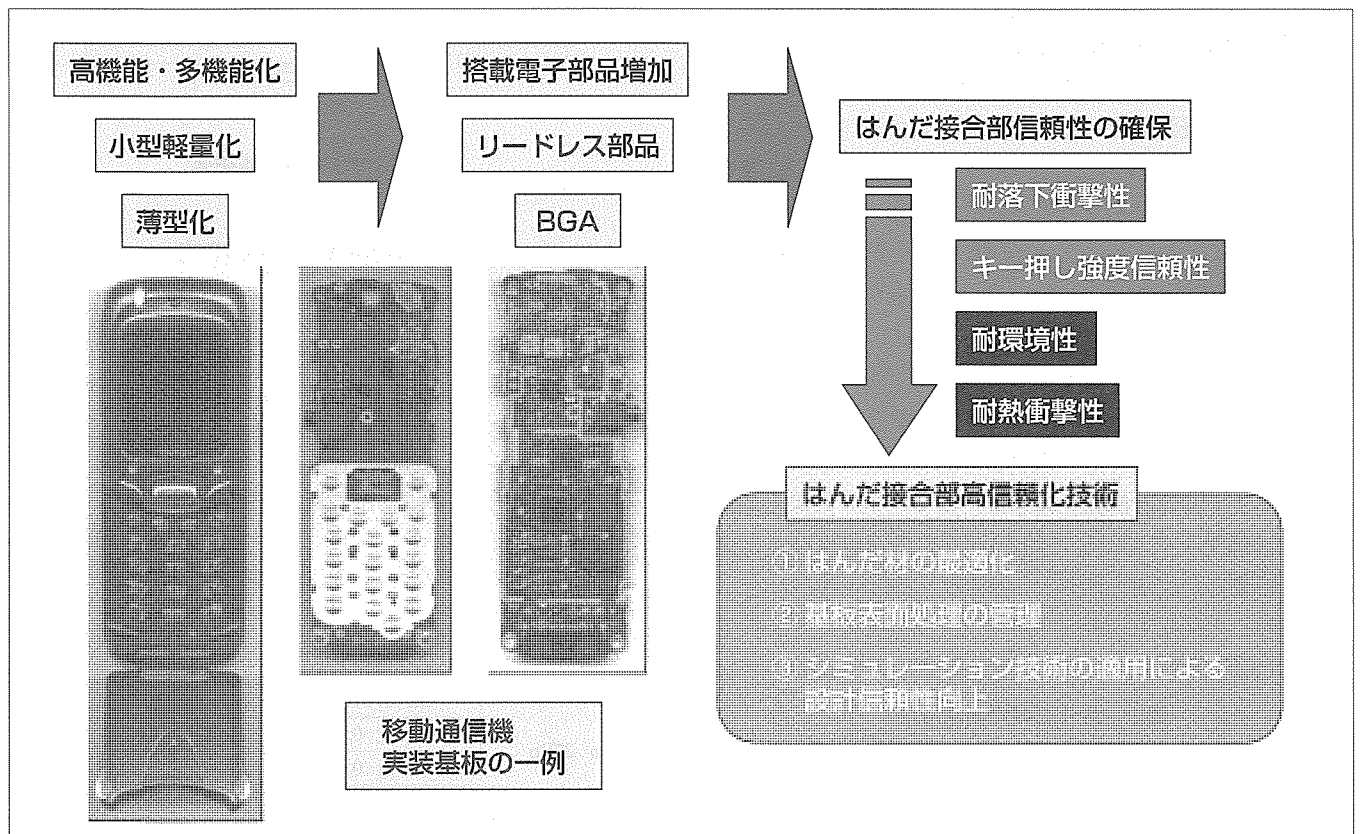
## 要 旨

移動通信機器は年々高機能化・多機能化する傾向が顕著であり、機能向上に対応するため搭載電子部品の点数は増大し続けている。一方、市場では、継続的な筐体(きょうたい)の小型軽量化・薄型化の要求があるため、増加する電子部品を高密度かつ効率的に実装するためのリードレス電子部品及びCSP(Chip Scale Package)等のBGA(Ball Grid Array)パッケージの採用が進められている。このため、はんだ接合面積の狭小化が著しく、はんだ接合部への負荷の増大が懸念されている。また、筐体の軽量化・薄型化に伴い、移動通信機器の大きな課題の一つである落下衝撃、又は使用形態の変化により大幅に回数が増加している繰り返しキー押しに対するはんだ接合部強度信頼性向上が一層重要となってきている。

これらの要求にこたえるため、はんだ接合部の劣化メカニズムを明確にしなが、接合性・耐熱疲労性・耐落下衝撃性の観点から、使用はんだ組成、基板ランドへのメタライズ仕様の検討等を行っている。また、落下衝撃や繰り返しキー押しに対するはんだ接合部強度信頼性を設計時に予測するシミュレーション技術の開発を実施している。

本稿では、市場ニーズにこたえるためのはんだ接合部高信頼化技術として、特に落下衝撃強度の観点から、①鉛フリー化を含めたはんだ材(組成、フラックス)の検討、②基板表面処理の管理、について概要を述べるとともに、③耐繰り返しキー押し構造信頼性設計システムについて、技術開発の概要と適用事例について述べる。

特集  
II



## 移動通信機器実装の課題とはんだ接合部高信頼化技術

移動通信機器の高機能・多機能化及び小型軽量化・薄型化のニーズに対応するためにリードレス部品やBGAなどの採用による高密度実装が進められており、これに伴い、はんだ接合部の信頼性の確保が重要な課題になっている。このため、はんだ接合部の高信頼化を目的として、はんだ材の最適化、基板表面処理の管理、構造シミュレーションによる応答予測技術の開発を進めている。

## 1. ま え が き

移動通信機器の高機能化はとどまるところを知らず、最近では動画の送受信を可能にするために使用するASIC (Application Specific Integrated Circuits)やメモリ等の数は増大し続けている。一方、製品の小型化・薄型化要求からは電子部品の小型化・狭ピッチ化・多ピン化傾向が著しく、QFN(Quad Flat package Non lead)やSON(Small Outline package Non lead)等のリードがないパッケージや、CSP等BGAの採用が広がっている。これらによって電子部品を実装するためのはんだ接合面積はますます狭小化するため、はんだ接合部にかかる負荷が増大し、筐体の薄型化と合わせてはんだ接合部の信頼性低下が懸念される。これを解決するために、①使用はんだ材の検討、②基板表面処理の管理、③シミュレーションの適用による応答予測技術の開発を行い、信頼性の確保を実現している。

本稿では、その一例について述べる。

## 2. はんだ材の検討

はんだ材の選定は、主に初期接合性・耐熱疲労性・耐落下衝撃性を考慮して行う。現在は、国内で最もよく使われている鉛フリーはんだSn-3.0Ag-0.5Cu(以下すべてwt%)を用いている。初期接合性及び耐熱疲労性については一般の製品よりも基板寸法が小さく比較的客先仕様を満たすことが容易であるため、ここでは各種はんだ材の耐落下衝撃性について模擬評価を行った結果について述べる。

表1に、汎用の錫(すず)鉛共晶はんだ(Sn-37Pb)及び検討した鉛フリーはんだの基本特性を示す。前述したSn-3.0Ag-0.5Cuのほかに、Agの添加量を少なくしたSn-1.0Ag-0.5Cu、Sn-0.7Cuを、また、融点が最も共晶はんだに近いものとしてSn-8Zn-3Biを検討した。ただし、Sn-8Zn-3Biについては健全な鑄塊サンプルの試作が困難だったため、文献値<sup>(1)</sup>を、その他は実測値を示した。

これらはんだ材の耐落下衝撃性を短時間で評価するため図1に示すような評価法を提案し、図2に示す装置を試作した。評価サンプルとして400 $\mu$ m $\phi$ の所定組成はんだボールを搭載したCSPを作製し、 $\phi$ 400 $\times$ 250 $\mu$ m厚にペーストを印刷した基板上に所定プロファイルで実装したものを

表1. はんだ材の基本特性

| はんだ組成 (wt%)  | 融点 (°C) | 強度 (MPa) | 伸び (%) |
|--------------|---------|----------|--------|
| Sn-37Pb      | 183     | 39       | 53     |
| Sn-3Ag-0.5Cu | 217~219 | 35       | 35     |
| Sn-1Ag-0.5Cu | 217~227 | 23       | 45     |
| Sn-0.7Cu     | 227     | 25       | 41     |
| Sn-8Zn-3Bi   | 187~197 | 74       | 26     |

用意した。CSP及び基板には所定パターンが施してあり、はんだ接合により1列導通した全体の抵抗が連続モニタできるようにになっている。繰り返し衝撃によりはんだ接合部にクラックが発生・進展した場合、これにより抵抗値が上昇し、初期抵抗の50%上昇したサイクル数をNGサイクル数とした。装置は島津製作所製微小試料試験機MMT-100NB-10を用いて両端埋め込みによる3点曲げ負荷で実施した。試験条件は、基板上面を基準とし、+2mm $\leftrightarrow$ -2mmの変位制御、周波数1Hz一定の矩形(くけい)波とし、3点曲げ下部支持スパンは30mm、上部負荷は埋め込み端から13mmの位置にCSP実装面が凸となるよう印加した。表2に、試作したサンプル一覧を示す。図3に、推定はんだ接合部Ag量を横軸としてNGサイクル数をグラフにプロットしたものを示す。

図3から、共晶はんだが最も耐落下衝撃性に優れる一方、鉛フリーはんだの使用によって耐落下衝撃性は低下し、接合部のAg量を低減させることにより低下が抑制される傾向を示すことが分かる。また、Sn-8Zn-3Biを用いたサンプルは、2サイクル以下でNGとなり最も信頼性が低かった。表1から、これらの結果は接合部の延性が高いほど落

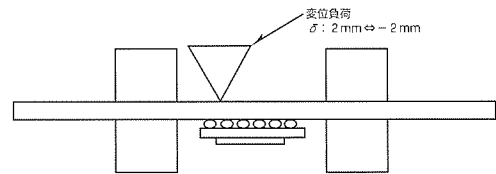


図1. 耐落下衝撃性評価法

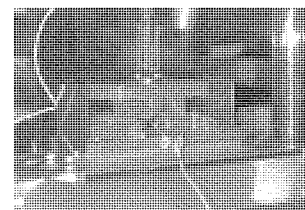


図2. 評価装置の外観

表2. 評価サンプル仕様と接合後の組成

| ソルダペースト (wt%)  | はんだボール (wt%)   | 接合後 (wt%)                  |
|----------------|----------------|----------------------------|
| Sn-37Pb        | Sn-37Pb        | Sn-37Pb                    |
|                | Sn-3.0Ag-0.5Cu | Sn-9.0Pb-2.3Ag-0.4Cu       |
|                | Sn-1.0Ag-0.5Cu | Sn-9.0Pb-0.8Ag-0.4Cu       |
|                | Sn-0.7Cu       | Sn-9.1Pb-0.5Cu             |
| Sn-3.0Ag-0.5Cu | Sn-37Pb        | Sn-30Pb-0.6Ag-0.1Cu        |
|                | Sn-3.0Ag-0.5Cu | Sn-3.0Ag-0.5Cu             |
|                | Sn-1.0Ag-0.5Cu | Sn-1.4Ag-0.5Cu             |
|                | Sn-0.7Cu       | Sn-0.7Ag-0.7Cu             |
| Sn-8.0Zn-3.0Bi | Sn-3.0Ag-0.5Cu | Sn-2.4Ag-0.4Cu-1.8Zn-0.7Bi |

下衝撃性に優れることが期待できることを示す。

しかし、表1に示したとおり、Ag量を低下させると融点が高くなるため、実装温度を高くする必要がある。また、濡(ぬ)れ性の低下も懸念される。このため、採用する部品のコストが上昇したり製品としての性能劣化が懸念され、トータルバランスを考慮すると、Sn-3.0Ag-0.5Cuが最もこの機器に対して適当であるとの結論に至った。

図4に、この評価後にクラックを生じたはんだ接合部の断面SEM(Scanning Electron Microscopy)写真を示す。これにより、落下衝撃によりクラックが発生する位置は、基板表面処理である無電解Ni-Pめっきとはんだとの接合界面であることが分かる。これはNiとSnとの相互拡散によって生じるPの濃化層に起因することが知られており、耐落下衝撃性は接合部の延性とともに関係強度に依存することが分かる<sup>(2)</sup>。この界面強度は使用するはんだ材によっても異なるが、表面処理の品質によっても異なる<sup>(3)</sup>。

### 3. 基板表面処理の管理

前述したとおり、耐落下衝撃性を低下させる一因は基板表面処理である無電解Ni-P/Auめっきにある。したがって、基板表面処理はPの濃化層を形成しないものとする必要がある。さらに、有機基板のCu電極に対しては、コスト・パターン精度の点から無電解処理が望ましい。このような表面処理として、電極表面にフラックスを塗布しただけの処理(プリフラックス)、無電解Snめっき、無電解Agめっき、無電解Auめっき、はんだプリコート(Hot Air Leveling: HAL)等がある。しかしキー押し部分の接触信頼性を考慮すると無電解Ni-P/Auめっきが最も有効であり、したがって、移動通信機器のはんだ接合信頼性確保に

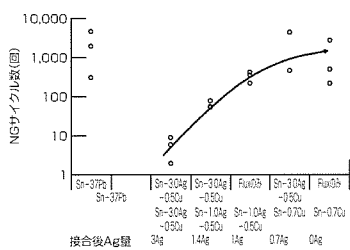


図3. 耐落下衝撃性評価結果

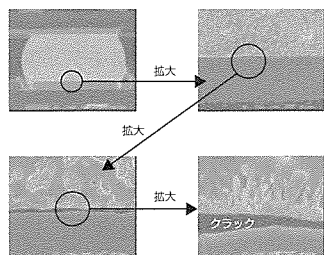


図4. クラック発生部断面SEM写真

おいては、無電解Ni-P/Auの膜質管理が肝要となる。

図5に、無電解Ni-P/Auについて健全なめっきと異常析出めっき膜とを比較した断面SEM写真を示す。なお、侵食痕は、試料表面にエッチング処理を施さないと明確になりにくい。異常析出の原因としては、めっき前処理時のレジストへのアタック等による無電解Ni-P膜中への不純物の巻き込みなどにより、無電解Auめっきが異常置換析出することによって考えられている。異常置換析出が生じためっき膜とはんだとは正常に接合を形成することができず、耐落下衝撃性も著しく低下する。

これを防ぐために、製造プロセスはもとより、無電解Ni-P/Auめっき膜質を受け入れ側で管理する必要があるが、その有効な手段の一つとしてテストパターンを用いたはんだボールプル強度によるスクリーニングが挙げられる。その管理基準値は使用はんだ材、電極径、レジスト高さ等により異なるが、管理基準以下の強度を示す基板は明らかに表面処理状態が悪い。我々は、関連会社も含めて、これらを厳しく管理することにより高信頼な接合を実現し、顧客のニーズにこたえている。今後の課題としては、非破壊スクリーニング方法の開発が挙げられる。

### 4. 耐繰り返しキー押し構造信頼性設計システム

開発した構造信頼性設計システム<sup>(4)</sup>の概要を図6に示す。このシステムでは、MS-Excel<sup>(注1)</sup>のGUI(Graphical User Interface)により基板、BGAやTSOP(Thin Small Outline Package)などのパッケージ、筐体の寸法や材料定数などの設計パラメータを設定する。次に、汎用FEM(Finite Element Method)解析ソフトウェアANSYS<sup>(注2)</sup>のマクロ言語APDL<sup>(注2)(5)</sup>を用いて自動的に解析モデルを作成し、キ

(注1) Excelは、米国Microsoft Corp.の米国及びその他の国における登録商標である。  
 (注2) ANSYS, APDLは、米国ANSYS Corp.の登録商標である。

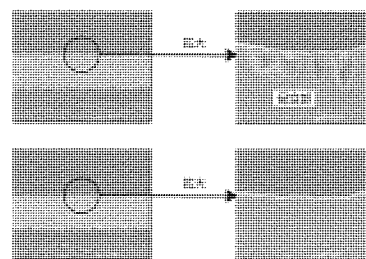


図5. Ni-P/Auめっき膜質の比較

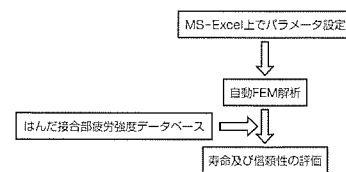


図6. 耐繰り返しキー押し構造信頼性設計システム

一押し負荷に対する構造解析を実施して、はんだ接合部やリード部に生じる相当応力を求める。その結果と取得したパッケージ接合強度データベース<sup>(6)</sup>を用いて、はんだ接合部の寿命評価及び信頼性評価を実施する。なお、設計パラメータを設定してからすべてのキーに対する信頼性評価を完了するまでに要する時間は、Pentium<sup>(注3)</sup> 4 のパソコンを用いた場合、約30分である。

#### 4.1 自動解析システムの開発

構造信頼性設計システムのパラメータ設定GUI(MS-Excel)の例を図7に示す。

このGUIにより、基板パラメータ、BGAやTSOPのパッケージパラメータ及び筐体構造などのパラメータを入力し、ファイルに保存する。次に、汎用有限要素法ソフトウェアであるANSYSを起動し、

APDL言語を用いて、パラメータを取得後、自動的にFEM解析を実施する。一連の作業は、設計者が容易に使えるように、ボタンをクリックすることで実行される。

FEMモデルの一例を図8に示す。FEMモデルの作成及び解析時間の低減と解析精度確保の両立のため、基板及びパッケージはシェル要素(SHELL61番)、はんだ及びTSOPのリードはビーム要素(BGA:PIPE16番, TSOP:BEAM44番)を用いた。また、パッケージの材料定数は等価曲げ弾性率で与えた。

#### 4.2 パッケージはんだ接合強度データベースの構築

図9に示すように、パッケージを実装した基板の4点曲げ(注3) Pentiumは、米国Intel Corp.の登録商標である。

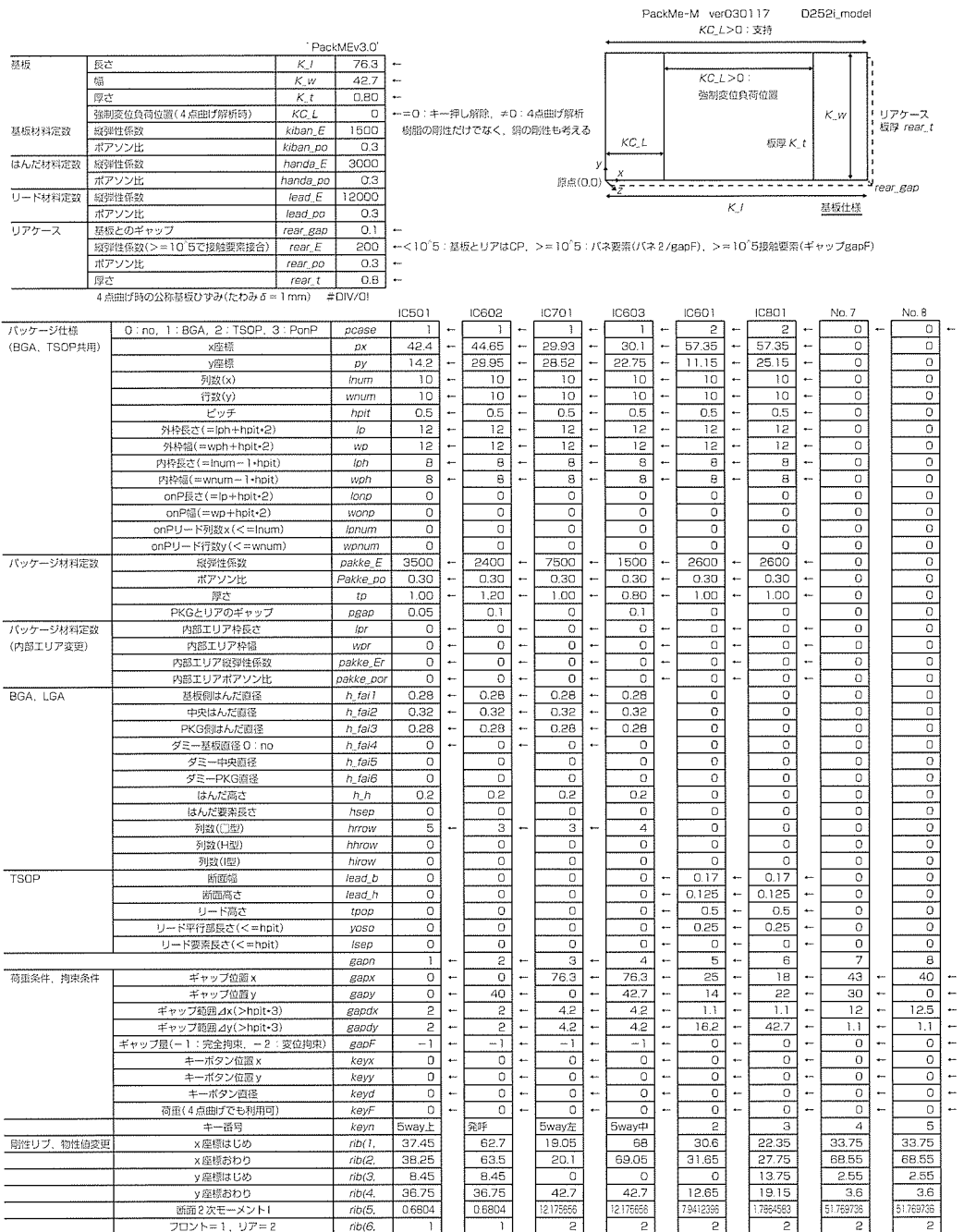


図7. MS-Excelでの設計システムGUI例

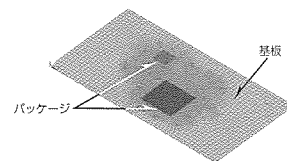


図8. 有限要素解析モデル例

び疲労試験を実施した<sup>(6)</sup>。パッケージの仕様を表3及び表4に示す。なお、BGAのType-A~D及びType-E~Gでは、はんだボール形状が若干異なっている。

試験機は島津製作所製 2tonf油圧サーボ式疲労試験機を用い、試験温度：室温、繰り返し試験周波数：1 Hzの試

験条件において変位制御で実施した。試験片の破壊の検知は、基板上的テストパッド間の導通不良が発生したとき(テストパッド間の抵抗が無大となったとき)とし、導通計測用パソコンで破壊繰り返し数を計測した。また、試験中は、基板表面に張り付けたひずみゲージ(共和電業製: KFG-5-120-C1-11 L3M2R)でひずみを計測した。また、TSOPに関しては、図10に示すように、リード方向と実装基板の長手方向が平行な場合(Parallel direction)と垂直な場合(Vertical direction)の試験を実施した。

解析には、汎用有限要素法ソフトウェアであるANSYS 5.7のAPDLを用いてBGA, TSOP, 基板をモデル化し、はんだ及びリード部の相当応力を求めた。パッケージ接合強度試験のFEMモデル例を図11に示す。なお、解析に要す

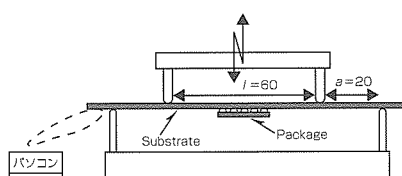


図9. 4点曲げ疲労試験方法

表3. BGAパッケージの形状・寸法

| Type   | Package size (mm × mm) | Ball diameter (mm) | Ball pitch (mm) |
|--------|------------------------|--------------------|-----------------|
| Type-A | 14 × 14                | 0.50               | 0.75            |
| Type-B | 14 × 14                | 0.47               | 0.75            |
| Type-C | 14 × 14                | 0.54               | 0.75            |
| Type-D | 14 × 14                | 0.45               | 0.8             |
| Type-E | 10 × 10                | 0.35               | 0.4             |
| Type-F | 13 × 13                | 0.31               | 0.5             |
| Type-G | 6 × 6                  | 0.32               | 0.5             |

表4. TSOPパッケージの形状・寸法

| Type   | Package size (mm × mm) | Lead size (mm × mm × mm) | Lead pitch (mm) |
|--------|------------------------|--------------------------|-----------------|
| Type-H | 10 × 8.5               | 0.17 × 0.125 × 0.5       | 0.4             |
| Type-I | 10 × 8.5               | 0.17 × 0.125 × 1.0       | 0.4             |

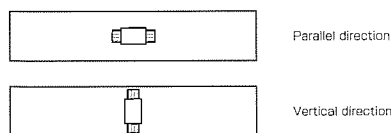


図10. TSOPの方向



図11. 4点曲げ試験の有限要素解析モデル例

る時間は、Pentium 4のパソコンを用いた場合で、約2分/ケースである。

次に、各種パッケージ及び基板を用いた4点曲げ疲労試験を実施し基板ひずみで評価した結果を図12及び図13に示す。また、3章に述べた方法により4点曲げ疲労試験のFEM解析を実施し、はんだ及びリード部に発生する相当応力の最大値で評価した結果を図14及び図15に示す。なお、図13及び図15では、TSOPがリード破壊した場合の結果を白抜きで示している。

図12及び図13に示すように基板ひずみで評価すると、パッケージ間の疲労強度ばらつきが大きいことが分かる。

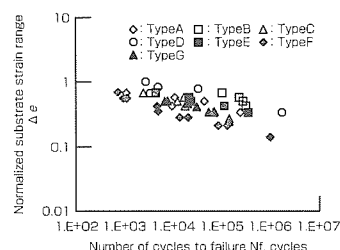


図12. BGAの基板ひずみと寿命の関係

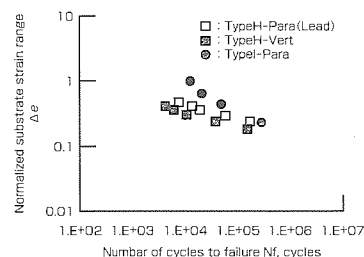


図13. TSOPの基板ひずみと寿命の関係

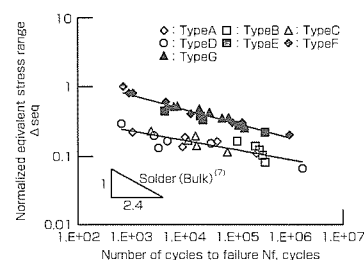


図14. BGAの相当応力と寿命の関係

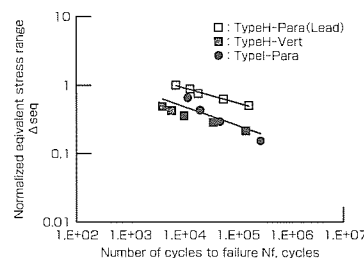


図15. TSOPの相当応力と寿命の関係

一方、図14及び図15に示すようにはんだ及びリード部の相当応力で評価すると、パッケージ間のばらつきが小さくなり、BGAでははんだボール形状、TSOPでは破壊部位によって異なる強度特性を示すものの、それぞればらつきの小さな疲労強度線で近似されることから、このデータベースによってBGA、TSOPの疲労寿命推定が可能であると考えられる。

また、図14及び図15に示す疲労強度線とはんだ母材の疲労強度線の傾き<sup>(7)</sup>を比較すると、この疲労強度線の傾きが小さくなっている。これは、本稿では弾性解析を実施しているためであり、弾塑性解析を実施すれば、はんだ母材の傾きとよく一致することを確認している。しかし、弾塑性解析は、計算時間がかかること、弾塑性解析結果のばらつきと本稿で示す弾性解析結果のばらつきとはほぼ同等であることから、このデータベースは工学設計上有用であると考えられる。

4.3 信頼性設計と実機への適用

キー押し負荷の平均を $F_a$ 、変動係数を $F_b$ 、製品のキー押し回数を $N$ 回とする。解析誤差の変動係数 $s_b$ 及び製品のばらつきの変動係数 $p_b$ は、複数の製品のキー押し負荷時の基板ひずみを測定することで求める。これらをまとめた発生応力の変動係数 $V_L$ は次式で得られる。

$$V_L = \sqrt{F_b^2 + s_b^2 + p_b^2} \dots\dots\dots(1)$$

また、強度のばらつき $V_w$ を図14及び図15から求め、信頼度 $R$ に対する安全率 $SF$ を求める。以上のデータから、設計基準は、 $F_a \times SF$ の負荷に対して寿命 $N$ 回以上とした。

次に、試作品に対し、引張試験機を用いてキー押し時の基板ひずみを測定した結果と解析結果の比較を表5に示す。表から、解析と実測はよく一致していることが分かる。次に、試作品に対してキー押し負荷レベルを変えて加速試験を実施した結果を図16に示す。なお、図16の実線及び破線は、図14で得られた疲労強度の平均線を示している。図16ではキー押し耐久性試験結果ははんだ接合部疲労強度データベースとよく一致しており、実機キー押しの耐久性の評価が可能であることが分かった。この手法を新規開発製品に適用することにより、設計の初期段階で十分な信頼性を確保した構造の開発が可能になった。

5. むすび

本稿では、移動通信機器を対象として、QFN、SON、BGAなどの採用により懸念されるはんだ接合部の信頼性低下を解決するための高信頼化技術の一例として、①鉛フリー化を含めたはんだ材(組成、フラックス)の検討、②基板表面処理の管理、③耐繰り返しキー押し構造信頼

表5. 基板ひずみの実測値と解析値との比較

| Gage No. | Key | Experimental substrate strain | Analytical substrate strain |
|----------|-----|-------------------------------|-----------------------------|
| Gage 1   | A   | 1.00                          | 1.02                        |
| Gage 2   | A   | 1.00                          | 0.90                        |
| Gage 1   | B   | 1.00                          | 0.82                        |
| Gage 2   | B   | 1.00                          | 0.93                        |
| Gage 1   | C   | 1.00                          | 0.89                        |
| Gage 2   | C   | 1.00                          | 0.68                        |
| Gage 3   | D   | 1.00                          | 0.91                        |
| Gage 4   | D   | 1.00                          | 0.73                        |

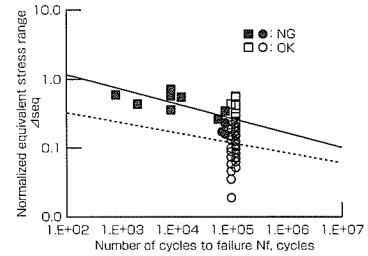


図16. 繰り返しキー押し試験結果

性設計システムについて紹介した。これらの技術を製品開発に適用することにより、移動通信機器のはんだ接合部の高信頼化を実現することができた。今後も、更なる多機能・高機能化要求に対応できる高信頼性はんだ接合技術の開発を継続的に実施していく予定である。

参考文献

- (1) 宮崎 誠, ほか: Sn-Zn系鉛フリーはんだにおけるフローはんだ付けに関する研究, Mate2004, 131~136 (2004)
- (2) 平森智幸, ほか: Sn-Ag系鉛フリーはんだボールのNi-P/AuめっきCSP接合部強度評価, Mate2004, 165~170 (2004)
- (3) 伊藤元剛, ほか: Sn-Ag-Cuはんだと無電解Ni-P/Auめっき接合体の界面ナノ構造の継手強度への影響, Mate2004, 159~164 (2004)
- (4) 坂本博夫, ほか: 携帯電話機実装基板の構造信頼性設計システムの開発, 日本機械学会D&S2003講演論文集, 152~153 (2003-10)
- (5) Ansys57オンラインマニュアル (2002)
- (6) 坂本博夫, ほか: 携帯電話機実装部品の耐キー押し強度信頼性設計, 日本機械学会M&M2003講演論文集, 617~618 (2003-9)
- (7) 鯉淵興二, ほか: 製品開発のための材料力学と強度設計ノウハウ, 日刊工業新聞社, 176~187 (2002)



# 受動素子内蔵プリント配線板技術

内海 茂\*  
豊島利之\*

Technology for Embedded Passives Printed Wired Board

Shigeru Utsumi, Toshiyuki Toyoshima

## 要旨

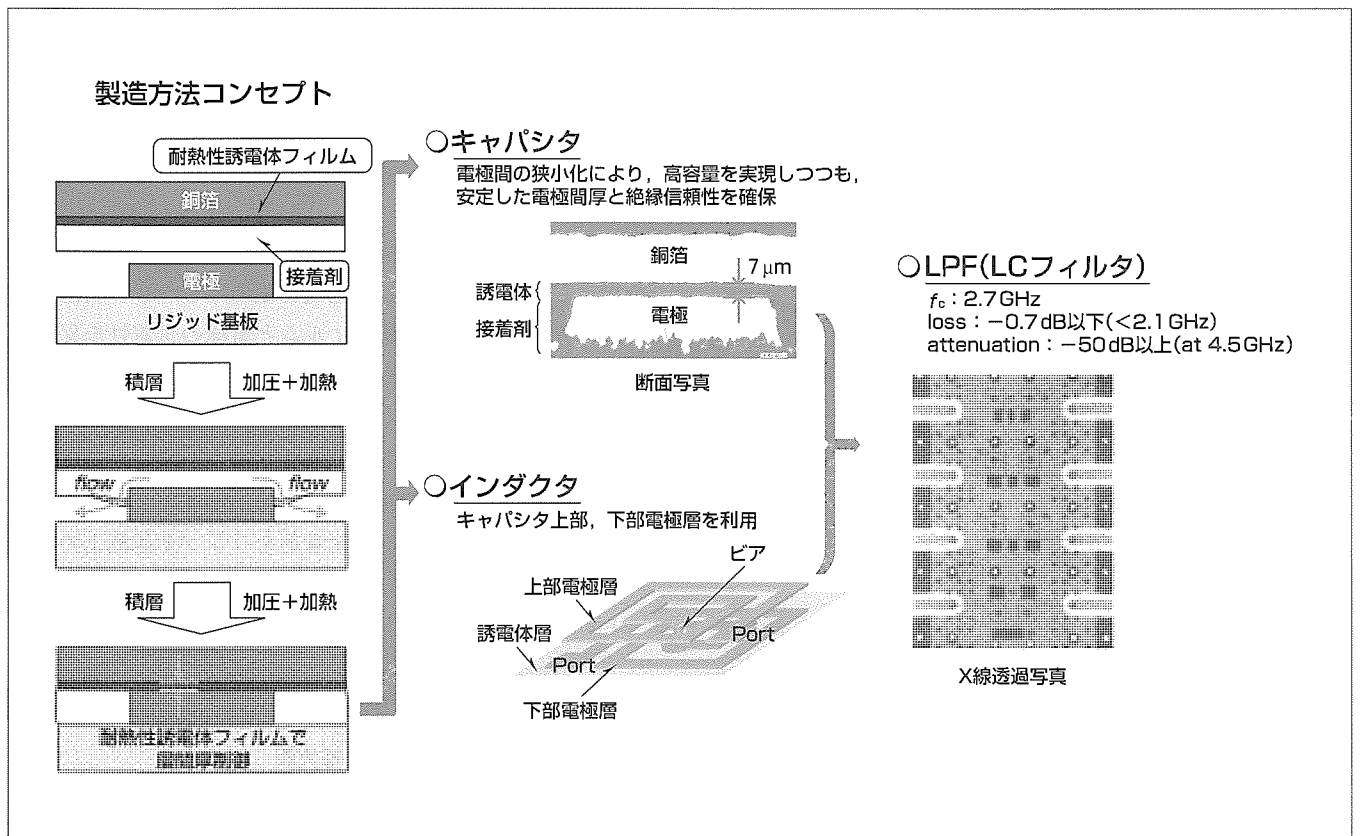
受動素子内蔵プリント配線板技術は、電子デバイスの高密度実装、高速化の要求に対する一つの解として注目されている。その製造上の課題は、単位面積当たりの電気容量、インダクタンスの向上及び内蔵素子の特性精度の確保である。これらの課題を解決するため、我々は、新たな構造の受動素子内蔵プリント配線板技術とこれを実現するプロセスを開発した。

この配線板技術は、層間誘電体の厚さを厳密に制御し、単位面積当たりの電気容量の増大と特性精度の確保の両立を図ったものである。また、従来の多層プリント配線板の製造プロセスと互換性を確保している。従来では、積層時に誘電体層がフローするため、特に薄い誘電体の場合、誘電体厚を厳密に制御することが困難であった。本稿で紹介

する配線板技術では、内蔵素子が形成される誘電体層をあらかじめ厳密に厚さ制御した耐熱性誘電体フィルムで形成することにより、内蔵素子の電気特性精度の向上を図った。耐熱性フィルムは積層時にフローしないため、従来数十 $\mu\text{m}$ 程度であった誘電体層厚が10 $\mu\text{m}$ 以下においても精度良く形成可能となり、電気容量の増大も可能となった。耐熱性フィルムとキャパシタ電極が形成された基材との接着は、接着剤を用いる。接着剤は積層時に電極外部へ流出するため、内蔵素子の特性精度にほとんど影響しない。

この技術で形成した内蔵素子は、高周波で優れた電気特性を持っている。また、キャパシタとインダクタを同層に内蔵させることにより、RF(Radio Frequency)フィルタが容易に形成できた。

特集 II



## 受動素子内蔵プリント配線板の製造コンセプト

電極間の誘電体層厚を耐熱性誘電体フィルムで制御することにより、高精度かつ高容量のキャパシタ(C)を有機プリント配線板に内蔵することが可能となった。このプリント配線板はインダクタ(L)も内蔵することができ、CとLを組み合わせることにより、低挿入損失フィルタを形成できた。

1. ま え が き

従来のプリント配線板は、デバイス間の電気的な接続線の確保が主な機能の一つであった。しかし、デバイス機能の増加、高速化の要求から、能動素子、受動素子数の増加が進み、配線のファイン化だけでは限られた製品サイズの中に実装を行うことが困難となってきている。また、従来の表面実装技術では、実装パッドの浮遊容量、リード線の寄生インダクタンスが無視できなくなり、先端高速デバイスのパフォーマンスを低下させる要因となっている<sup>(1)</sup>。

前述の課題に対する一つの解決策は、一部の表面実装部品をプリント配線板に内蔵した受動素子に置き換える、すなわち、受動素子内蔵プリント配線板技術を採用することである。この技術は、表面実装部品点数を減らし、デバイスをより高集積化することができるとともに、能動素子に受動素子を近接させ、浮遊容量及び寄生インダクタンスの小さい回路を形成できるため、高速デバイスの特性を十分に引き出すことができる<sup>(1)</sup>。

一般的に有機プリント配線板は、低コスト、マザーボードに対する熱膨張率の整合性及び高い生産性等が期待できる。しかし、受動素子を内蔵した場合に、十分な電気容量密度及び受動素子の特性精度が得られないことが課題となっていた。

電気容量密度を向上させるには、高い誘電率を備えた誘電体材料を用いることと、その誘電体材料をキャパシタ電極間に薄く形成することが重要である。高誘電率材料としては、近年、高誘電率フィラーと樹脂との混合物が検討されている。一方、誘電体の薄膜化は、特性精度とトレードオフの関係にある。特に、従来の製法では、プリント配線板の製造時に誘電体樹脂が流動するため、誘電体厚を厳密に制御することが困難であった。

上記の課題を解決するために、我々は、高い電気容量密度、高い特性精度を両立する新しい構造を持つ受動素子（インダクタL、キャパシタC）内蔵有機プリント配線板技術を開発した。

2. プリント配線板の構造

本稿で紹介する受動素子内蔵プリント配線板は、高容量密度を達成するための薄い誘電体層構造とその形成方法に特長を持っている。また、従来の多層プリント配線板の製造工程と互換性を持つため、生産コストは従来のものに準じることも特長である。

一般的に、多層有機プリント配線板では、半硬化状態の熱硬化性樹脂を内部導電層が形成されたコア基板へ積層することにより誘電体層を形成する。積層工程は高温高圧下で行い、誘電体は熔融、流動及び硬化という過程を経るため、基板外部方向へ流動する。そのため、特に薄い誘電体

層を形成する場合には、誘電体層の厚さが不安定となる。この誘電体層を内蔵キャパシタの誘電体として利用する場合、電気容量精度、絶縁信頼性が懸念される。それに対し、本稿で紹介するプリント配線板では、接着機能を持つ熱硬化性樹脂からなる接着剤とあらかじめ規定した厚さを持つ耐熱性誘電体フィルムとを積層した<sup>(2)</sup>。

本稿における受動素子内蔵プリント配線板の概略図を図1に示す。接着剤、誘電体となる耐熱性誘電体フィルム、及び銅箔（はく）をあらかじめ下部電極が形成されたリジッド基板に熱プレス法を用いて積層することにより、この構造を持つ配線板を得ることができる。接着剤は熱硬化性樹脂であるため、電極上の接着剤は、積層時に熔融し、積層プレスにより押し出され、電極の周囲に流れ出す。電極上の接着剤がほとんどすべて電極周囲に流出すると、電極と銅箔の間には、スペーサ代わりとなる耐熱性誘電体フィルムのみ残り、誘電体厚を誘電体フィルムの厚さで制御することができる。積層プレスにおいて面内の圧力分布が不均一な場合でも、製造ワーク内に分散している電極上の誘電体厚さは耐熱フィルムの厚さにより制御されるため、電極上の誘電体厚さの精度は保たれる。さらに、誘電体フィルムに欠陥があったとしても、接着剤がピンホールに充填（じゅうてん）されるため、絶縁信頼性は確保できる利点もある。

耐熱性誘電体フィルムは積層時に熔融・変形しない材料であれば特に限定されないため、誘電体材料の選択の幅は広く、また、従来形成が困難であった10μm以下の誘電体層も、薄いフィルムを選択することにより、容易に形成することができる。

電極と銅箔の間に残留する接着剤は、キャパシタの誘電体厚及び誘電率に影響し、電気容量のばらつきの要因となる。したがって、誘電体フィルムと電極の密着性を保つ機能を残し、なるべく電極周辺に流出させる必要がある。本稿では、熔融粘度が低く流動性が高い物性の接着剤材料を用い、接着剤の厚さを下部電極より薄く形成した。その結果、積層後の電極上の接着剤は、0.5μm以下となった。

銅箔／耐熱性フィルム／接着剤をリジッド基板の電極

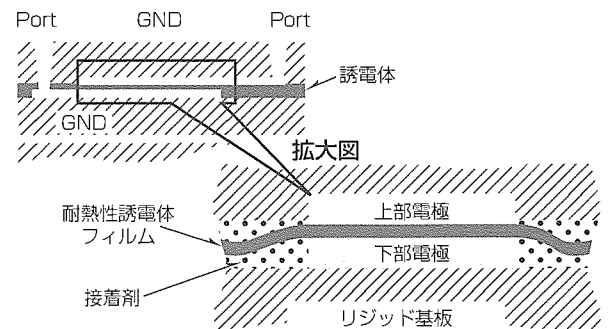


図1. 受動素子内蔵プリント配線板概略図

へ積層したサンプルの断面写真を図2に示す。電極上の誘電体はほぼ耐熱性フィルムによって占められ、接着剤はほとんど除去されていることが確認できる。

表1に、本稿で用いた材料(リジッド基板絶縁材料、耐熱性誘電体フィルム、接着剤)の電気特性を示す。耐熱性誘電体フィルムとして、小さな誘電損を持つポリフェニレンサルファイド(PolyPhenylene Sulfide: PPS, 厚さ $t=6\mu\text{m}$ )を用いた。なお、接着剤は電気特性が異なる2種類を検討した。形成したキャパシタの電気容量密度は $4\text{pF}\cdot\text{mm}^{-2(2)}$ であり、このデータからも、電極間の誘電体はほぼ誘電体フィルムによって占められ、接着剤はほとんど除去されていることが確認できる。もし必要ならば、PPSを、更に高誘電率の誘電体フィルム材料に置き換えることが可能である。

### 3. 電気特性評価方法

キャパシタ及びインダクタをストリップ線路内に挿入した受動素子内蔵プリント配線板の電気特性を評価した。電気容量精度は、製品内に分散させた各内蔵キャパシタの1MHzでの電気容量をLCR(インダクタンス, キャパシタンス, 抵抗)メータ(Agilent 4285A)で測定することにより得た。また、高周波特性(0.5~6.0GHz)は、ベクトル・ネットワークアナライザ(Agilent 8510A, 校正方法: TRL(Thru-Reflect-Line)法)を用いて評価した。

### 4. キャパシタ

表2に、内蔵キャパシタの電気容量の平均値と精度( $3\sigma$ )を示す。精度は汎用チップ部品と同等以上であった。内蔵

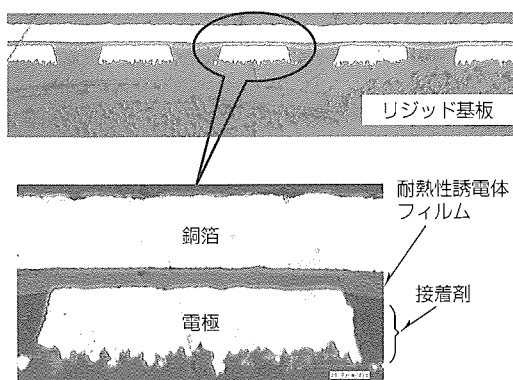


図2. 内蔵キャパシタ断面写真

表1. 使用した材料の電気特性

|            | 誘電率( $\epsilon_r$ ) | 誘電損失( $\tan\delta$ ) |
|------------|---------------------|----------------------|
| リジッド基材     | 3.4                 | 0.0031               |
| 耐熱性誘電体フィルム | 3.0                 | 0.0015               |
| 接着剤A       | 3.8                 | 0.0138               |
| 接着剤B       | 4.3                 | 0.0240               |

キャパシタの電気容量ばらつきの要因としては、誘電体厚さ、誘電率、電極面積のばらつき及び二つの電極層の層間ずれが挙げられる。層間ずれの電気容量に対する影響を除外するため、評価した配線板では、下部電極に対し上部電極が大きく設計されている。また、電極面積の精度は $\pm 0.5\%$ であった。さらに、今回の配線板で使用した耐熱性誘電体フィルムは、単一成分であり、接着剤との誘電率差も小さいことから、誘電率のばらつきは小さいと考えられる。したがって、電気容量のばらつきの主要因は、誘電体の厚さのばらつきであることが分かる。内蔵キャパシタの誘電体は耐熱性誘電体フィルムと、電極上に残留する接着剤からなるため、誘電体の厚さ及び誘電率の安定化には、耐熱性誘電体フィルムの厚さ制御に加え、接着剤の積層時の流動特性も重要なパラメータとなる。

Shunt-Cとした内蔵キャパシタの高周波特性を議論するために、本来の容量 $C_1$ と並列損失 $R_1$ 、電極とグランド層の間の浮遊容量 $C_2$ 及びコンダクタンス $G_2$ を設定したT型等価回路を検討した。表3に、接着剤種を変えた内蔵キャパシタの電気特性を示す。電界が集中する電極間には、低損失耐熱性フィルム(PPS)が大部分を占めているため比較的高いQ値を示すが、電極周辺にある接着剤の誘電損失が大きいと、Q値は劣化することが分かる。また、自己共振周波数(Self Resonance frequency: SRF)も接着剤の特性に影響されなかった。

### 5. インダクタ

キャパシタの電極を形成した導電層と同層にスパイラルパターンを直列に挿入したインダクタの高周波特性を評価した。真のインダクタンス $L_3$ 、等価直列抵抗 $R_3$ 、スパイラルパターンとグランドとの浮遊容量 $C_4$ 及びコンダクタンス $G_4$ からなる $\pi$ 型等価回路を設定した。 $L_3$ 及びQ値に対する接着剤の誘電損の影響を図3に示す。キャパシタと同様に、Q値は接着剤の誘電損によって影響を受ける。すなわち、より低誘電損失の接着剤を使用することにより高いQ値が得られる。一方、SRFは、キャパシタと異なり、

表2. 各内蔵キャパシタの平均電気容量と精度( $3\sigma$ )

| 電気容量(平均) | $3\sigma$ |
|----------|-----------|
| 4.0pF    | 4.4%      |
| 2.0pF    | 4.8%      |
| 1.7pF    | 6.8%      |

表3. 接着剤種の内蔵キャパシタの電気特性に対する影響

|                 | 接着剤A | 接着剤B |
|-----------------|------|------|
| $C_1/\text{pF}$ | 2.68 | 2.67 |
| Q値              | 95.7 | 58.6 |
| SRF/GHz         | 5.9  | 5.9  |

接着剤種により影響される。すなわち、低誘電率の接着剤Aの場合、スパイラルライン間の浮遊容量が低下するため高いSRFを得ることができる。

### 6. フィルタ

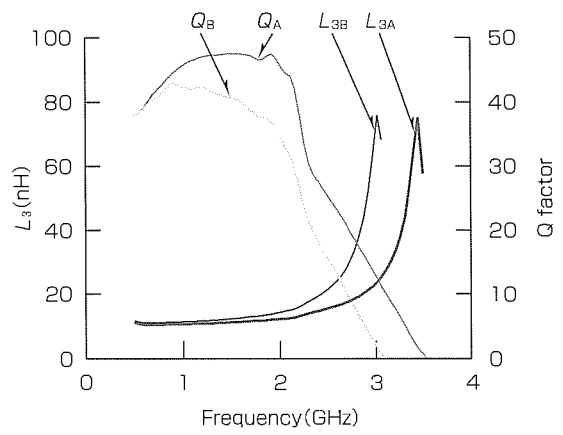
高精度かつ高Q値のキャパシタ及びインダクタは、低い挿入損失のLCフィルタには不可欠要素である。本稿で紹介したキャパシタ及びインダクタは、安定した精度、低い損失を持ち、また、RF領域におけるフィルタに適した容量、インダクタンスを得られる。これらのキャパシタとインダクタを組み合わせ、ローパスフィルタ(LPF)を形成した。LPFの挿入損は $-0.68\text{dB}$ 、カットオフ周波数 $f_c$ は $2.7\text{GHz}$ 、減衰極が $4.5\text{GHz}$ で $-54\text{dB}$ のローパスフィルタ特性が得られた(図4)。

### 7. むすび

高い容量密度でかつ容量精度が安定したキャパシタを内蔵した、新規な構造の有機受動素子内蔵プリント配線板を開発した。このプリント配線板は、任意の層にキャパシタ、インダクタを形成することが可能である。PPSを用いたキャパシタは、高いQ値を持ち、容量密度は $4\text{pF}/\text{mm}^2$ で精度は $\pm 5\%$ ( $3\sigma$ :  $2\text{pF}$ 以上の場合)であった。また、内蔵インダクタは、キャパシタの2つの電極層を利用して形成することができる。それらのQ値や自己共振周波数SRFは、電極間に挿入される耐熱性誘電体フィルムだけでなく、接着剤の電気特性にも影響される。さらに、これらの内蔵キャパシタ及びインダクタを組み合わせることにより、低挿入損失のLCフィルタを形成することができた。

### 参考文献

(1) Hobbs, J. M., et al.: Simultaneous Switching Noise Suppression for High Speed Systems Using Embedded Decoupling, Proceedings of the 2001 Electronic Components and Technology Conference(ECTC),



$L_{3A}, Q_A$ : 接着剤Aを用いた場合  
 $L_{3B}, Q_B$ : 接着剤Bを用いた場合

図3. 内蔵インダクタ特性に対する接着剤の電気特性の影響

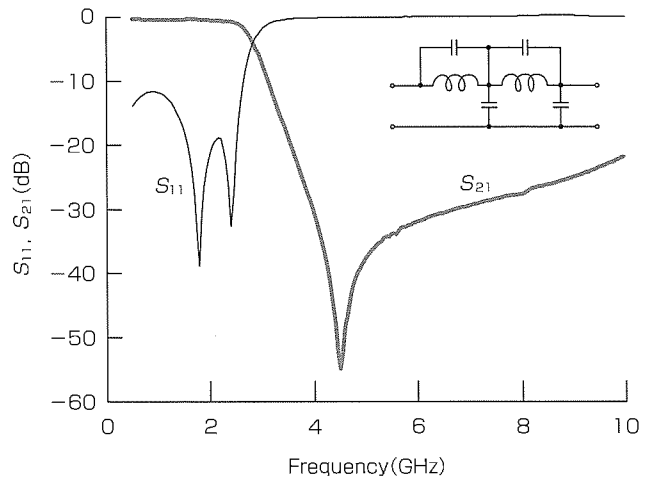


図4. 内蔵素子で形成したローパスフィルタの特性

339~343 (2001)

(2) Utsumi, S., et al.: Electrical Properties and Reliability of Organic Integral Passives Substrate, Proceedings of ICEP 2003, 199~204 (2003)

# 次世代光電気複合実装技術

平松星紀\*

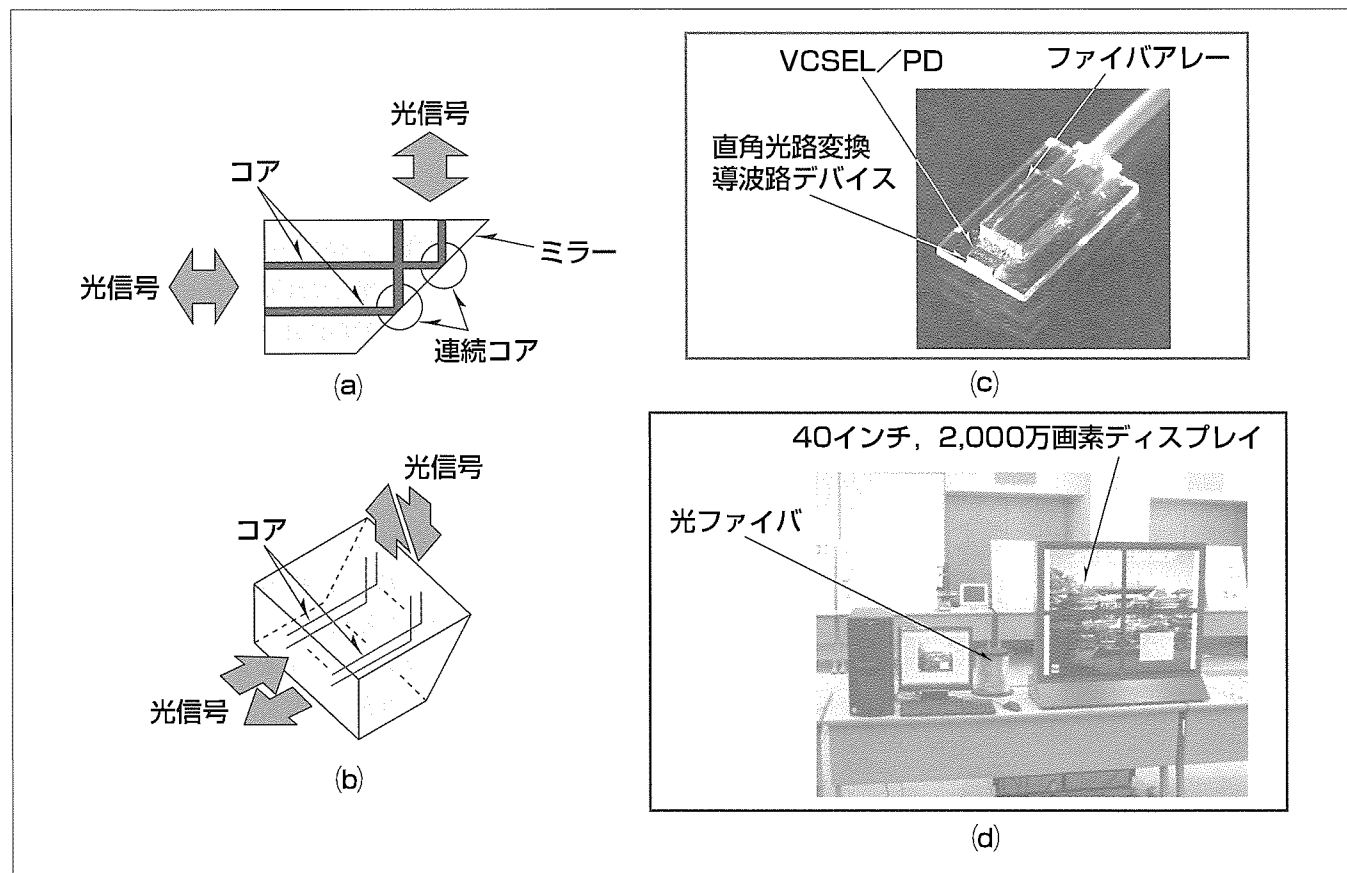
Opto/Electric Interconnection Technologies for Next Generation Packaging

Seiki Hiramatsu

## 要旨

高度情報化社会が進展し、信号の高速化・高密度化・デジタル化が一層進んでいる。それに伴い、LSIやICの高速化・高密度化が精力的に検討されてきた。今後、これらを搭載したプリント配線板にも同様の要求が高まると予想され、銅配線のクロストーク、帯域限界、チャネル数の増大に伴う配線設計などの問題に直面することになる。このような問題を解決する手段の一つとして、プリント配線板上に実装されたLSI同士を光信号でつなぐ光電気複合実装技術がある<sup>(1)~(3)</sup>。光電気複合実装技術は、光導波路、光素子、電子制御用のLSIやスイッチ、また、電子部品を駆動させるための電気回路が集積された形態を作り込む将来技術であり、モジュールには消費電力の低減や多チャンネル化

への対応という観点から面型の光素子(Vertical Cavity Surface Emitting Laser: VCSEL, Photo Diode: PD)が使用される。従来VCSELやPDの光結合は一次元アレー構造によるものが主流であったが、光電気複合実装技術においては、小型化と高密度化のためマトリックス配列された $n \times m$ チャンネルを光結合する構造が必要になる。今回、将来の光電気複合実装でキーパーツとなる多チャンネル接続と光路変換機能を持つ導波路型デバイス(直角光路変換導波路デバイス)と、それらを用いたコネクタを新規に開発した。開発したコネクタは10Gbps/ch以上の伝送特性を持ち、高精細画像伝送システムなどに適用できることを検証した。



## 直角光路変換導波路デバイスの構造と適用例

(a)は直角光路変換導波路デバイスの断面図、(b)は直角光路変換導波路デバイスの立体図でマトリックス配列した光I/O部と直角光路変換用のミラーを持つ三次元導波路、(c)は導波路デバイスを使用したピッグテールコネクタで導波路デバイス上にVCSEL/PDが実装できる構造、(d)はピッグテール型コネクタを適用した高精細画像伝送システムを示す。

\*先端技術総合研究所

1. ま え が き

近年、チップ間、ボード間や装置間の伝送には、高速化、電磁輻射(ふくしゃ)耐性やクロストーク低減の点から光伝送が精力的に検討されている。このような光伝送には、低消費電力化や多チャンネル化への対応という観点から、光素子にVCSELやPDが使用される。従来VCSELやPDと光ファイバとの光結合は一次元アレー構造によるものが主流であったが、将来的な小型化と高密度化のためにはマトリクス配列された $n \times m$ チャンネルを光結合する構造が必要になる。このようなVCSEL/PDは光入射面がウェーハ表面に形成されているため、接続構造を小型化するには、光I/Oを水平方向にするデバイスが必要不可欠になる。これまでに、マイクロレンズや反射ミラーを用いた光学デバイス<sup>(1)(2)</sup>や $1 \times n$ チャンネルのVCSEL/PDを垂直に立てる電気デバイスが報告されてきた<sup>(3)</sup>。しかしながら、このようなデバイスは低コスト化や高速化への対応には課題を持つものが多かった。今回、我々は、マトリクス配列にした光I/Oとの一括接続と光路変換機能を併せ持ち、将来的な量産性を兼ね備えた新規の三次元導波路デバイスを提案し、それらを用いたコネクタの特性評価及びデバイス適用を検討した。

2. 光路変換導波路

2.1 構造

提案する光路変換導波路デバイスの構造を図1に示す。導波路デバイスは $n \times m$ 本のコアを作製し、相応するチャンネル数の光I/Oがデバイス側面と上面から得られる。各コアはミラーの反射点で連続し、光路変換の前後でも絶えずコア内を光信号が伝搬する構造にした。 $n \times m$ 本のコアは光路長を一定にするため互いに直交する部分を持つが、直交するコアであればチャンネル間のクロストークに影響は

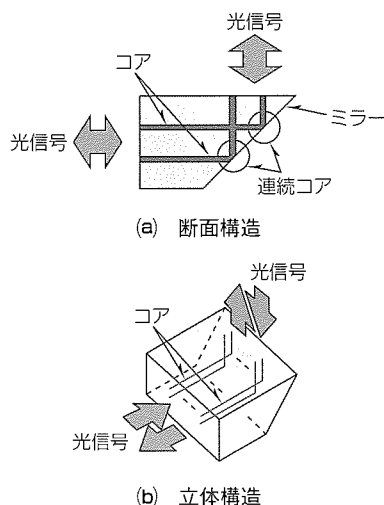


図1. 直角光路変換導波路の構造図

少なく多並列伝送に適する。また、すべての光路長を同じにすれば、各チャンネル間で起きる信号遅延の問題を潜在的に抑えられる効果もある。光路変換デバイス内のコアはデバイス表面まで作製したので、マイクロレンズを使用することなくVCSEL/PDと直接光結合でき、部品点数の低減とデバイスの低コスト化に貢献できる。さらに、提案する導波路はブロック形状を作製できるので、光I/O部周辺に電極パターンを作製してVCSEL/PDを直接実装することが可能である。光路変換導波路デバイスの構造と機能をまとめて以下に示す。

(1) 構造的長

- (a) マトリクス配列されたコアを持つ多チャンネル三次元光導波路
- (b) ミラーを用いた一括光路変換
- (c) コアが連続した光路変換構造
- (d) 全チャンネルコア等長
- (e) デバイス表面までコア形成
- (f) ブロック形状

(2) 機能的長

- (a) マトリクス配列されたVCSEL/PDや光ファイバとの多心一括接続
- (b) 光学レンズ等を使用しない直接光結合
- (c) 高効率光結合
- (d) チャンネル間の信号遅延の低減(スキューの低減)
- (e) デバイス上への電極形成及びVCSEL/PDの直接実装

2.2 作製方法

導波路デバイスにはシングルモード型とマルチモード型があるが、実装精度を考慮してマルチモード型導波路デバイスを対象とし、導波路材料にはプロセス負荷を考慮して高分子材料を使用した。コア形状は50 GI MMF(Graded Induced Multi Mode Fiber)と光結合できるように、断面形状を $40\mu\text{m} \times 40\mu\text{m}$ の角型にした。

作製方法を図2に示す。①ガラスウェーハ上に格子状の導波路を作製し(図の(a)), ②ウェーハレベルで作製した導波路を複数枚張り合わせる(図の(b))。③張り合わせたウェーハをコアの交差する点で $45^\circ$ にダイシングする(斜線面でのダイシング)(図の(c))。ダイシングした面は研磨後に $\text{SiO}_2/\text{MgF}_2$ の多層膜を形成して光路変換用反射ミラーにした。④導波路デバイスの外形を作製するため破線に沿ってダイシングし(図の(c)), ⑤光I/O面を研磨して導波路デバイスを作製した(図の(d))。

この作製方法であれば一括して導波路デバイスを作製できるため一度に複数個を作製でき、生産性の向上及びデバイスの低コスト化が期待できる。

2.3 光学特性

850nm帯のVCSEL/PDを使用したため、光路変換導波

路デバイスについてもその波長帯で吸収損失が少ないエポキシ樹脂系の材料を使用した<sup>(4)</sup>。作製した光路変換導波路デバイスの損失特性を表1に示す。評価にはコア数が $2 \times 4 = 8$ 本で、伝搬長が5.1mmの導波路デバイスを使用した。挿入損失は平均で1.4dB、最小値は1.2dBであった。ここで、エポキシ樹脂系の材料を使用した直線導波路の伝搬損失は約0.14dB/cmであることから<sup>(5)</sup>、作製した導波路の導波長5.1mmの伝搬損失は無視できるほど小さい。光路変換部分は誘電体多層膜を用いて反射効率を向上させているが、導波路デバイスの損失はダイシングや研磨の際に生じるミラー表面の微細な傷が原因と考えられる。

### 3. 小型光路変換コネクタ

直角光路変換導波路デバイスを利用してピッグテール型コネクタを作製した。ピッグテール型コネクタ用光路変換デバイスの概観写真を図3に示す。導波路デバイスは $2 \times 4 = 8$ チャンネルのコアを作製し、VCSEL/PDを直接搭載するための電極パッドをコア近傍に作製した。光I/Oの間隔はすべて $250\mu\text{m}$ にし、デバイスのサイズは(横)1.5×(縦)1.5×(高さ)0.5(mm)にした。開発した導波路デバイスと光結合できるマトリックス配列型の光ファイバアレー

は既に報告されているが<sup>(6)</sup>、マトリックス配列されたVCSEL/PDは入手困難であったことや基本特性評価の観点から、今回の研究では $1 \times 4$ チャンネルのVCSEL/PDを使用した。VCSEL/PDは、導波路上の電極パターンに設けたAuSnバンプを介して、フリップチップボンダで搭載した。導波路にPDを搭載し、導波路裏面からPD表面を観察した結果と側面評価結果を示す(図4(a))。光導波路コアは4チャンネルともPD受光面の中心に搭載されており、搭載精度は約 $\pm 5\mu\text{m}$ であった。素子表面と導波路表面の間隔は約 $20\mu\text{m}$ あり(図4(b))、この隙間(すきま)には結合効率を改善するため透明シリコン樹脂を充填(じゅうてん)した。4心の光テープファイバはガラス基板上に設けたV溝上に固定し、光ファイバと導波路デバイスはアクティブアライメントで調心固定した(図5)。光導波路デバイスと光ファイバの接続損失は0.5dB以下であった。この結果から、光導波路デバイス内部の損失を考慮しても作製したピッグテール型コネクタの損失は2.0dB以下であり、光電気複合実装用コネクタとして十分な光学特性であるこ

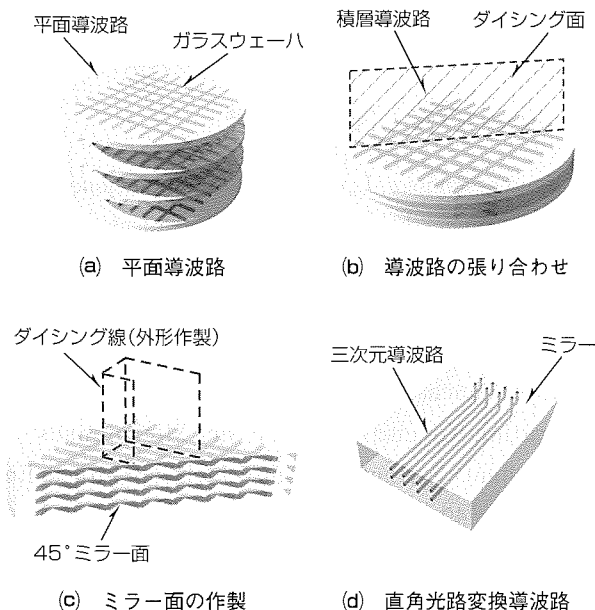


図2. 直角光路変換導波路の作製方法

表1. 直角光路変換導波路の挿入損失

|           |       |       |       |       |
|-----------|-------|-------|-------|-------|
|           | ch. 1 | ch. 2 | ch. 3 | ch. 4 |
| 挿入損失 (dB) | 1.3   | 1.5   | 1.2   | 1.4   |
|           | ch. 5 | ch. 6 | ch. 7 | ch. 8 |
| 挿入損失 (dB) | 1.4   | 1.3   | 1.4   | 1.5   |

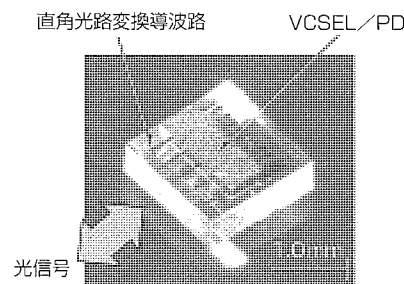
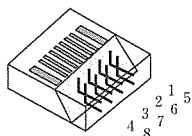


図3. ピッグテール型コネクタ用直角光路変換導波路

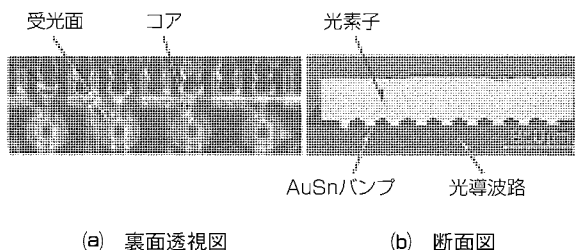


図4. 光素子を搭載した直角光路変換導波路

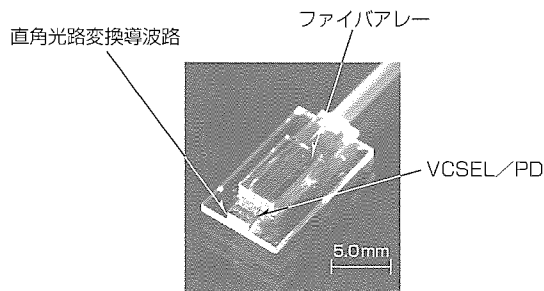


図5. ピッグテール型コネクタ

とが分かった。

#### 4. 高精細画像伝送システム

光電気複合実装技術の適用例として、ピッグテール型コネクタを搭載した高精細(Extremely High Definition : EHD)モニタ用画像伝送システムについて説明する。EHDモニタシステムは、今後、映像配信を利用したバーチャルコンサート、高精度三次元CAD、医療用電子カルテ、アミューズメントなどの分野へ適用が期待できる。このような用途に使用されるモニタシステムは、画素数に応じた高速な信号伝送システムが必要である。現在でも、画像伝送システムで使用される電気信号ケーブルにDVI(Digital Visual Interface)ケーブルがある。しかしながら、DVIケーブルは信号劣化のために短距離伝送しかできないため、将来的な大容量化・長距離化の要求には対応できない。このようなケーブルによる画像伝送のボトルネックを解消する一つの手段として、光電気複合実装を使用した光伝送システムを開発した。

EHDモニタ用光モジュールの概観写真を図6に示す。EHDモニタ用光モジュールは4チャンネルのピッグテール型コネクタを1個搭載し、Red, Green, Blue, Clockの画像信号を伝送できる(伝送速度:1.6 Gbps/ch)。(横)30×(縦)40(mm)の光モジュールの中でピッグテールコネクタの占める実装面積は約(横)4×(縦)5(mm)であり、他の実装部品と比較しても小型のIC程度の大きさである。

EHDモニタシステムでは500万画素の20インチ液晶モニタを4枚、全体で2,000万画素、40インチを表示する構成にした(図7)。開発したコネクタを使用すれば光ファイバで50mを伝送しても良好な画像が得られた。一方、DVIケーブルで20mを伝送しても、信号劣化のために画像は得られないことが分かった。開発したピッグテール型コネクタは10Gbps/ch以上の良好な伝送特性を得られることを確認しており、光電気複合実装の将来的な大容量化にも適用できる。

#### 5. むすび

我々は、光電気複合実装用のデバイス開発の中で面型光素子のVCSEL/PDと光ファイバを結合するデバイスを新規に提案してきた。開発したデバイス及びそれらを用いたコネクタは多チャンネル一括接続、直角光路変換機能と生産性を併せ持ち、従来にない小型化・高密度化を達成することが分かった。今回得られた導波路デバイス及びコネクタの結果はこれまで報告の前例がなく、将来的な光電気複合実装のキーパーツになる先進的な成果である。

なお、この研究は、経済産業省の「超高密度電子SI技術

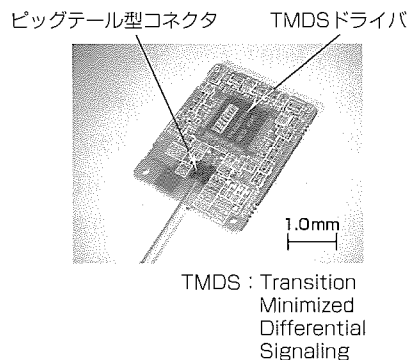


図6. EHDモニタ用光モジュール(ピッグテール型コネクタ搭載)

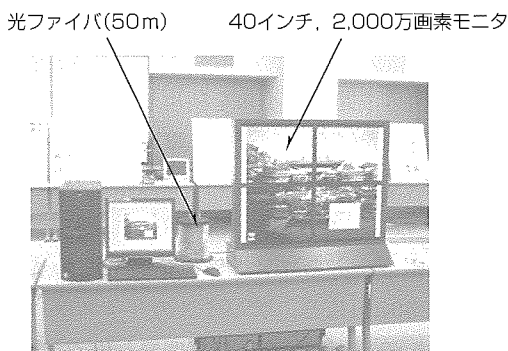


図7. EHDモニタ用画像伝送システム

の研究開発」プロジェクトの一環として、新エネルギー・産業技術開発機構(NEDO)から委託され実施した。

#### 参考文献

- (1) Vanwassenhove, L., et al. : Two-dimensional Optical Interconnect between CMOS IC's, Electronics Components and Technology Conference, 231~237 (2000)
- (2) Baukens, V., et al. : Free-space Optical Modules for Two-dimensional Photonic Very Large Scale Integration Circuitry Based on Microlenses and Gradient-Refractive-Index Lenses, Optical Engineering, **40**, No.11, 2431~2441 (2001)
- (3) Kosaka, H., et al. : 2D Alignment Free VCSEL-array Module with Push/Pull Fibre Connector, Electronics Letters, **32**, No.21, 1991~1992 (1996)
- (4) 平成12年度 技術研究組合 超先端電子技術開発機構 成果報告書, 407~415 (2000)
- (5) 今井三郎: ポリマ導波路, 第13回エレクトロニクス実装学術講演大会, 37~38 (1999)
- (6) Takaya, M., et al. : Design and Performance of Very-High-Density 60-Fiber Connectors, J. Light-wave Technology, **21**, No.6, 1549~1556 (2003)





# 特許と新案\*\*\*

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは  
三菱電機株式会社 知的財産渉外部  
電話(03)3218-9192(ダイヤルイン)

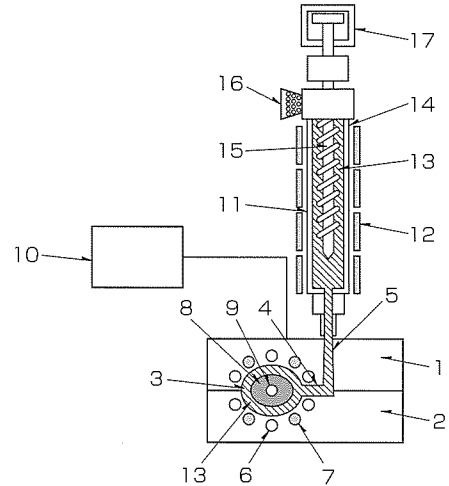
## 金属一体樹脂成形法及び装置 特許第3552593号(特開2001-1382)

発明者 椋田宗明, 山田 祥, 金子公廣, 山崎道夫

この発明は、プラスチックと金属部品の接合界面における剥離(はくり)やひずみの発生を防止する金属一体樹脂成形法及び装置に関するものである。

金属部品を金型内に設置してプラスチックを射出成形する従来のインサート成形法では、成形前に金属インサートを予備加熱したり表面処理をして成形が行われるが、成形時のプラスチックの大きな成形収縮によりプラスチックと金属の接合界面で剥離を起こしたり、接合界面の近傍で収縮によりプラスチック内部に応力が発生して、接合不良が発生しやすい。

この発明は、上記の問題を解決するためになされたもので、金型内で金属インサートをプラスチックの熔融温度以上に温度制御して金型内にプラスチックを充填(じゅうてん)し、プラスチックが固化温度に到達するまで樹脂圧を保つ圧力制御と、常に金属インサートの温度がプラスチックの温度より高くなる温度勾配を制御しながら冷却することにより、接合界面での応力の発生を抑制し、剥離やひずみの発生を防止するものである。



- |           |             |
|-----------|-------------|
| 1: 上金型    | 10: 温度制御部   |
| 2: 下金型    | 11: 射出シリンダ  |
| 3: キャビティ  | 12: ヒーター    |
| 4: ランナ    | 13: 熔融樹脂    |
| 5: スプル    | 14: シリンダ    |
| 6: ヒーター   | 15: スクリュー   |
| 7: 通水孔    | 16: 樹脂材料供給口 |
| 8: 金属部品   | 17: 油圧シリンダ  |
| 9: 金属部の内部 |             |

## 微小異物の位置決め方法、分析方法、これに用いる分析装置およびこれを用いた半導体素子 もしくは液晶表示素子の製法 特許第3258821号(特開平6-121314)

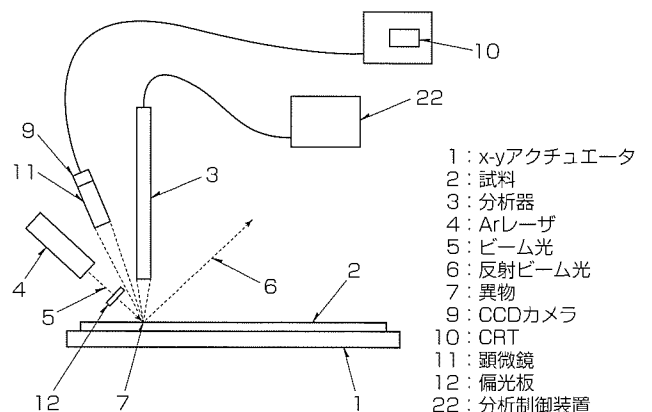
発明者 藤野直彦

この発明は、半導体デバイスや液晶表示素子等の基板上に点在する微小異物を検出することで位置を特定し、その組成や形状等の内容を分析する装置に関するものである。

従来の基板上的微小異物の分析は、光学式パーティクル検査装置(WIS)が用いられていた。ところが、WISは基板上に点在する異物の検出・位置特定ができるものの、その組成や形状等の内容分析ができないという課題を持っている。また、従来の走査型電子顕微鏡等の分析装置では、微小異物の検出可能な倍率まで拡大すると、観察視野が狭くなり、異物を視野内に捕らえにくく、異物の分析が困難であった。

この発明は、上記の欠点を解決するためになされたもので、コンピュータによって分析装置のステージ座標と概座標リンクされたWISを用い、あらかじめ基板上の微小異物の位置座標を求め、分析装置のステージに基板を移し換えると同時に、あらかじめ求めた異物の位置座標を入力する。このときに発生する異物の存在位置と入力した位置座

標とのズレ(数mm)を補正するため、分析装置のステージ上に図に示すような異物観察機構を設けている。ズレより広い基板上的範囲にビーム光をスポット照射し異物によるビーム光の変化を光学顕微鏡で観察することから、異物の位置を再検出・位置決めし、分析装置本来の機能で微小異物の内容を分析するものである。





# 特許と新案\*\*\*

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは  
三菱電機株式会社 知的財産渉外部  
電話 (03) 3218-9192(ダイヤルイン)

## 数値制御装置および曲線経路補間方法 特許第3236579号 (特開平11-345017)

発明者 高橋悌史, 加藤清敬

この発明は、工作機械やロボットなどを制御する数値制御装置及び曲線経路補間方法に関するものである。

曲線経路がスプライン曲線で与えられた場合、数値制御装置は、経路上を一定速度で移動できるようにスプライン補間を行い、機械の各軸の速度指令を計算する。この場合、曲率の大きい経路では加速度の大きい指令が機械に入力さ

れ、機械振動が発生するという問題があった。

この発明では、スプライン曲線の1次導関数、2次導関数を用いて曲率を求める曲率評価部と、曲率評価結果を用いて速度指令を変更する速度指令生成部を持っており、曲率に応じて速度指令が減速されるように構成されている。

図1～図3はこれらの動作を説明した図である。図1はスプライン曲線で表された曲線経路、図2は曲率評価部で計算された曲線経路の曲率変化、図3は速度指令生成部で計算された速度指令の変化である。図1～図3から、曲率が大きい区間では速度指令が減速されていることが分かる。このように曲率の大きな経路では速度指令は減速されるので機械が生じない良好な機械制御ができる。

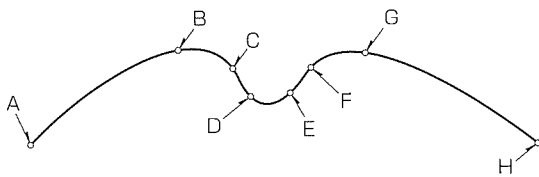


図1

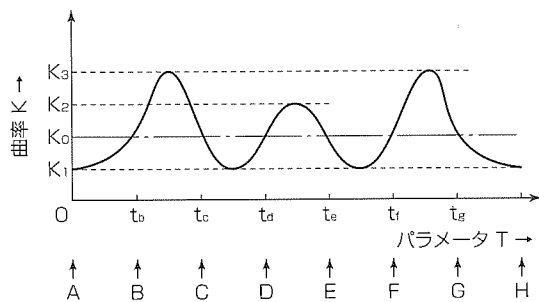


図2

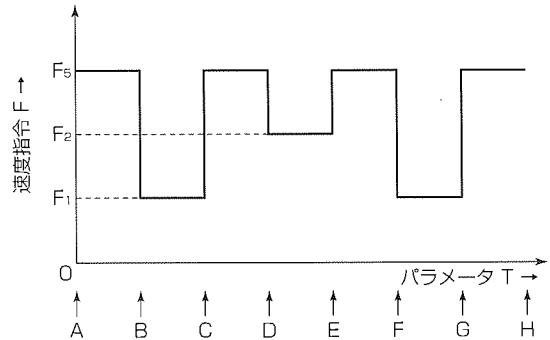


図3

### 〈本号記載の商標について〉

本号に記載されている会社名、製品名はそれぞれの会社の商標又は登録商標である。

### 〈次号予定〉三菱電機技報 Vol.78 No.12 特集「最新の受配電システム」/「車両(電気鉄道)システム技術」

|  |  |
|--|--|
| <p>三菱電機技報編集委員</p> <p>委員長 三嶋吉一</p> <p>委員 小林智里 長谷川裕 堤清英<br/>         桑原幸志 村松洋 松本修<br/>         浜敬三 藤原正人 中川博雅<br/>         瀬尾和男 部谷文伸<br/>         黒畑幸雄 山本比呂志</p> <p>事務局 松本敬之</p> <p>本号取りまとめ委員 椋田宗明<br/>         足達廣士</p> <p>URL <a href="http://www.MitsubishiElectric.co.jp/giho/">http://www.MitsubishiElectric.co.jp/giho/</a></p> | <p>三菱電機技報 78巻11号 2004年11月22日 印刷<br/>         (無断転載・複製を禁ず) 2004年11月25日 発行</p> <p>編集人 三嶋吉一</p> <p>発行人 松本敬之</p> <p>発行所 三菱電機エンジニアリング株式会社 e-ソリューション&amp;サービス事業部<br/>         〒102-0073 東京都千代田区九段北一丁目13番5号<br/>         日本地所第一ビル 電話 (03) 3288局1847</p> <p>印刷所 株式会社 三菱電機ドキュメンテクス</p> <p>発売元 株式会社 オーム社<br/>         〒101-0054 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地<br/>         電話 (03) 3233局0641</p> <p>定価 1部945円(本体900円)送料別</p> <p>三菱電機技報に関するお問い合わせ先 cep.giho@ml.hq.melco.co.jp</p> |
|--|--|

# スポットライト ETC車載器

2001年3月からサービスが開始されたETC(Electronic Toll Collection System)は、高速道路の渋滞緩和を目的に開発されたシステムで、本年3月末現在、全国のほとんどの料金所で利用可能となっています。

三菱電機は、従来品で高い評価を得ている技術、信頼性を継承しながら、2004モデルとして新製品を発売しました。

## 特長

### (1) スタイル一新、カード操作性向上、設置場所自由

EP-400シリーズは、スタイルを一新し、カードエジェクト・音量調節・料金履歴のボタンを改良し、操作性を向上させました。アンテナ・スピーカー分離タイプは、スピーカーの小型化により更に設置場所も自由に選べます。

### (2) フロントガラス張り付けタイプに音声案内機能内蔵

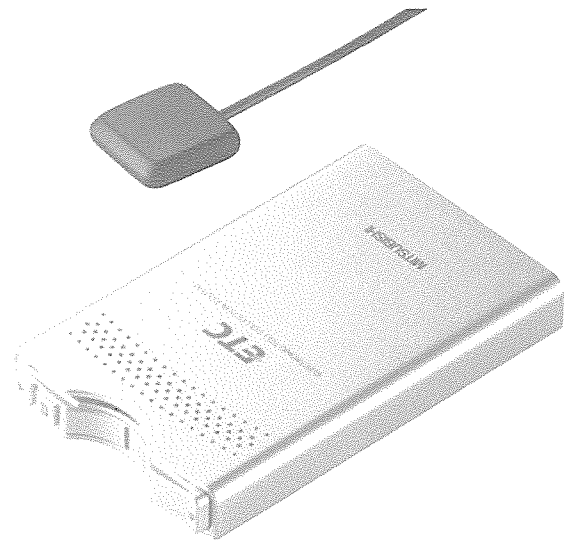
ルームミラー裏側のフロントガラスに張り付け、ダッシュボードはすっきりさせ、視界を妨げないEP-200シリーズに音声案内内蔵機種を追加しました。



EP-423の外観



EP-223の外観



EP-433の外観

## 概略性能

| 項目         | EP-200シリーズ          | EP-400シリーズ                                     |
|------------|---------------------|--|
| サイズ(W×H×D) | 75.0×16.0×103.0(mm) | 75.0×15.0×113.0(mm)                            |
| 質量         | 80g                 | 140g   |
| 無線部        | キャリア周波数             | ダウンリンク：5,795/5,805MHz<br>アップリンク：5,835/5,845MHz |
|            | 伝送速度                | 1,024kbps                                      |
|            | 変調方式                | 振幅変調   |
|            | 空中線電力               | 10mW   |

住 所：〒100-8310 東京都千代田区丸の内2-2-3 (三菱電機ビル)

会社名：三菱電機株式会社 お問い合わせ先：自動車機器事業部 市販部 TEL：03-3218-2912