

ユーザーから見た接着の課題と要望

原 賀 康 介*

1. はじめに

最近の電気・電子機器においては、高密度化、高精度化、高機能・高性能化、コスト低減、環境軽負荷などが要求されており、種々の特徴を有する接着技術は、電気・電子機器の組み立てに必要な不可欠な要素技術の一つとなっている。

ここでは、電気・電子機器における接着技術の利用の目的、電気・電子機器の種類と接着剤、電気・電子機器におけるゴムの接着事例と課題・要望、接着設計技術について述べる。

2. 電気・電子機器における接着技術利用の目的

電気・電子機器の組み立てに接着技術が用いられる目的には以下のようなものがある。

1) 軽量化：薄板の高強度接合、高剛性化、耐振性向上が同時に実現できる。金属からプラスチックへの軽量材への変更にも容易に対応できる。

2) 小型化、高密度化：接着接合では部品にねじ締めや溶接、かしめなどの接合のためのスペースが不要となる。

3) 高精度化：溶接による部品の変形や、ねじ締めトルクによる微小な位置ずれが接着接合では生じない。また、接着剤の充てん効果を利用すれば、高精度な三次元位置合わせなども容易に行える。

4) 製造工程の合理化：接着剤の充てん効果の利用による加工精度の低減、穴あけ・ねじ切り加工の廃止、溶接ひずみ除去工程の廃止、高精度位置合わせの簡素化、化粧鋼板やプレコート鋼板化による塗装工程の廃止などが図れる。

5) 部品の材料変更の促進：溶接やろう付け、半田付けなどでは、これらの接合に適した材料や耐熱性の材料を使用しなければならないが、接着接合は、接合温度が低く異種材料も容易に接合できるので、より高性能、高機能化が図れる材料や安価な材料、加工しやすい材料への変更が可能となる。

6) 熟練技能、3K作業からの脱皮：アーク溶接やひずみ修正作業には高度な熟練技能者が必要であるが、技術の空洞化に伴い熟練技能者の不足が問題となっている。また、溶接や塗装およびその関連作業は騒音、じん埃、閃光、溶剤などの点から3K作業の代表とされ、作業環境の改善が急務である。接着接合による板金組立や、化粧鋼板やプレコート鋼板の採用によりこれらの問題は大きく改善できる。

7) 省エネルギー化：接着接合は分解の困難さからリサイクル上敬遠される傾向にある。しかし、接着接合は製品組立工程における使用エネルギーの削減に大きな効果が得られることから、板金構造物のように部品単位への分解を必要としない同種材料どうしの接合に多用されつつある。

8) その他：接着でなければ接合できないガラ



*三菱電機先端技術総合研究所、環境・分析評価技術部(〒661-8661 尼崎市塚口本町8-1-1) 主席研究員。工博。昭和48年、京都大学工学部工業化学科卒業。同年、三菱電機入社、現在に至る。接着技術、特に構造接着技術、耐久性評価技術、日本接着学会、関西支部副支部長。

スやセラミック、ゴム、金属箔やフィルム、異種材料などの接合が容易にできる。また、部品間の熱伝導特性の向上、光学部品表面での反射防止などが図れる。

3. 電気・電子機器の種類と接着剤

電気・電子機器と一言にいてもその種類は千差万別であり、使用される接着剤は機器の種類や用途により多岐にわたっている。電気・電子機器用接着剤は少量多品種・高機能が大きな特徴である。以下に、機器別に使用される代表的な接着剤の種類と特徴を示す。

1) 重電機器：大型発電機や送電・変電機器などの重電機器では、絶縁材料として樹脂が用いられているが、接着剤は主要な部分にはほとんど使用されていない。これは、接着剤の強度、耐久性などの性能が要求に満たないためである。

2) 航空・宇宙用機器：航空機や人工衛星搭載機器は軽量であることが重要でハニカムパネル部品の製造・組み立てや太陽電池の固定などに接着剤が使用されている。接着剤はエポキシ系とシリコン系が主であり、宇宙用は熱真空下でのアウトガスや耐放射線などの要求条件が厳しく、ほとんどが特定の輸入品である。

3) 通信用アンテナ：衛星通信用の大型パラボラアンテナや電波望遠鏡などではアンテナ反射面に高い精度が要求され、組み立てにエポキシ系接着剤が使用されている。接着剤には強度、耐久性、低膨張係数、隙間充てん性などが要求される。

4) システム制御機器：電力・工業プラントや交通システム、上下水道などの公共システム、ビル管理システムなどの制御装置は大地震にも耐える耐震性が必要で、最近は制御装置を収納する筐体の組み立てに二液型アクリル系接着剤が使用されている。接着剤には強度、耐久性、油面接着性、室温硬化性、作業の簡便性などが要求される。

5) モーター：工作機械やロボットなどに使用されるサーボモーターや自動車用スタータモーターなど、ローターシャフトやステータにマグネットが接着されたものが多い。接着剤はエポキシ系や嫌気性、二液型アクリル系などが使用されており、強度、耐熱性、短時間硬化性、低熱応力などが要求される。

6) エレベーター：かご室や乗り場の扉や壁パネルは、軽量で剛性が高く、しかもひずみのない美しい外観が必要であり、パネルの補強材接合に接着剤が多用されている。接着剤は主として二液アクリル系やウレタン系が使用されている。接着剤には、強度、耐久性、低内部応力、油面接着性、低温硬化性などが要求される。

7) 冷熱機器：工業用、ビル用、車両用、家庭用などの冷熱機器においては各種の断熱材が接着剤により接着されている。従来から溶剤型ゴム系接着剤が使用されてきたが、最近は環境対策から水性タイプへ変更されつつある。

8) 液晶ディスプレイ：ノート型パソコンなどに使用される液晶ディスプレイの組み立てにおいては、2枚のガラス基板の接着と液晶のもれ防止のためにエポキシ系や紫外線硬化型などのシール剤や液晶注入口の封止剤が使用されている。接着剤には液晶との反応性や液晶中への不純物の拡散がないことなどが要求される。ガラス基板の電極とFPCの接続には熱硬化性や熱可塑性の異方性導電膜が使用されている。また、電極部の補強には紫外線硬化樹脂が使用されている。

9) 光部品：光通信用コネクタ、CD・MDなどの光ヘッド、サーボモーター用光学式エンコーダなどは、非常に高い組立精度が要求され、接着剤が多用されている。接着剤はエポキシ系、シリコン系、紫外線硬化型などが使用されている。接着剤には低内部応力、透明性・遮光性・屈折率などの光学特性、微量塗布性などが要求される。

10) 半導体素子：ICチップをダイパッドに接合するダイボンドやパッケージングに接着剤が使用されている。接着剤には導電性、熱伝導性、高純度などが要求され、主としてエポキシ系接着剤が使用されている。最近はダイボンドに熱可塑性接着剤も使用されている。また、ICチップの製造プロセスにおいては、ウエハの研磨や切断時に特殊な粘着シートが使用され、半導体素子上への放熱フィンの取付けや半導体素子のプリント基板への実装などにはシリコン系や紫外線硬化型などの接着剤が使用されている。

11) 磁気記録装置：ビデオやパソコンの磁気記録装置の磁気ヘッドの組み立てにはエポキシ系、シアノ系、紫外線硬化型などの接着剤が多用されている。接着剤には低内部応力、低粘度、耐摩耗性、短時間接着性などが要求される。ヘッド部品

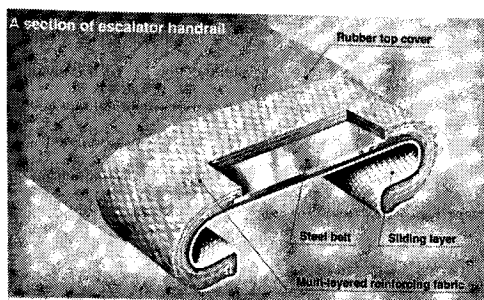


図1 エスカレーター手すりの断面図

の製造プロセスにおいては、研磨や切断時に治具に部品を仮固定するために高純度のワックスやシアノ系接着剤が使用される。接着剤には貼り付け時の展性、加工時の硬度、取り外し時の溶解性、低内部応力などが要求される。

12) 家電品：家電品の組み立てにおいては、ホットメルト型や粘着シート、シリコン系、嫌気性、二液アクリル系、ゴム系、シアノ系、ドープセメントなど種々の接着剤が使用されている。しかし、組み立ての主体はカシメや嵌合、ねじであり接着剤は二次的に使用されることが多い。接着剤にはライントクトに追従できる短時間接着性や難燃性、リサイクル性などが要求される。

4. 電気・電子機器におけるゴムの接着事例

4.1 エスカレーター手すり

エスカレーターの手すりはゴムと繊維、金属などの異種材料の接着・積層・成形により製造されている。エンドレスのベルト状で、平均的な長さは30 m程度で、長いものでは220 m程度のもの

まである。エスカレーターの手すりには、繰り返し屈曲性に優れていること、引張り力による伸びやクリープが小さく高い引張強さを有すること、屋内や屋外での耐環境性に優れていること、美観などが要求される。

図1に、エスカレーター手すりの断面を示した¹⁾。最外層は種々の色に着色されたゴムで覆われており、その下にはゴムが含浸された綿布が多層に積層されて補強層を構成している。最下層には摺動層として駆動ローラによる駆動力を手すりベルトに伝えるため高い摩擦係数と優れた耐摩耗性を有する綿布が接着されている。補強層と摺動層の間には、強度部材としてスチールベルトが接着されて埋め込まれている。使用条件に合わせてスチールベルトの代わりにステンレスやグラスファイバーも使用されている。手すりの厚さは8～10 mm程度である。このような積層接着構成により3トン以上の引張強さが確保されている。

図2に製造工程を示した¹⁾。補強層である綿布へゴムを含浸、摺動層である綿布の片面へゴムを塗布、そしてスチールベルトへの接着剤の塗布がなされた後、積層され、最外層のゴムを押し出し被覆した後加熱加圧されて加硫される。長さや色はオーダーごとに異なるため、すべてオーダーメイドである。

4.2 エスカレーターのローラ

エスカレーターには種々のゴムローラが使用されている。図3上はエスカレーターのベルトを駆動させるための駆動ローラ、図3下はエスカレーターのステップの追従ローラである。これらのローラには大きな力に対する耐久性と耐摩耗性、耐油性、乗り心地の良さなどが要求されるため、金

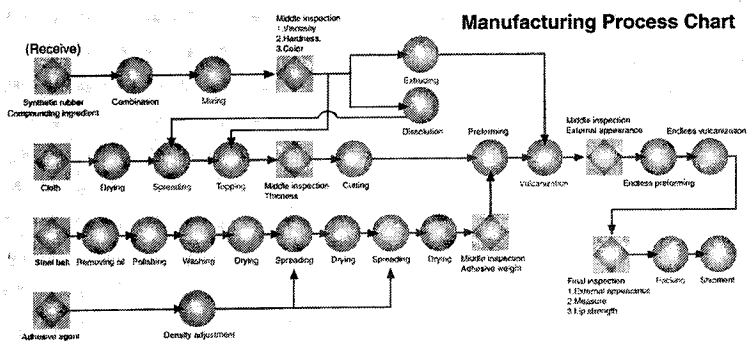


図2 エスカレーター手すりの製造工程

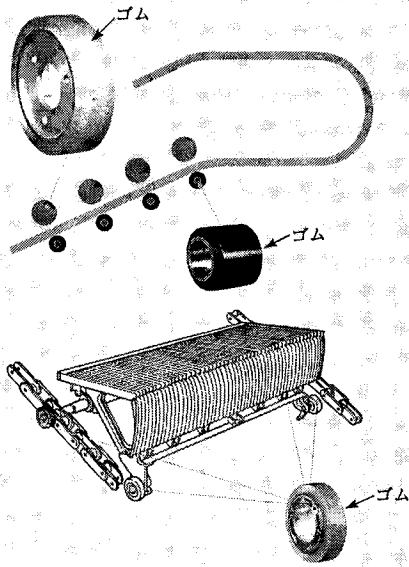


図3 エスカレーター手すりの駆動ローラとステップローラ

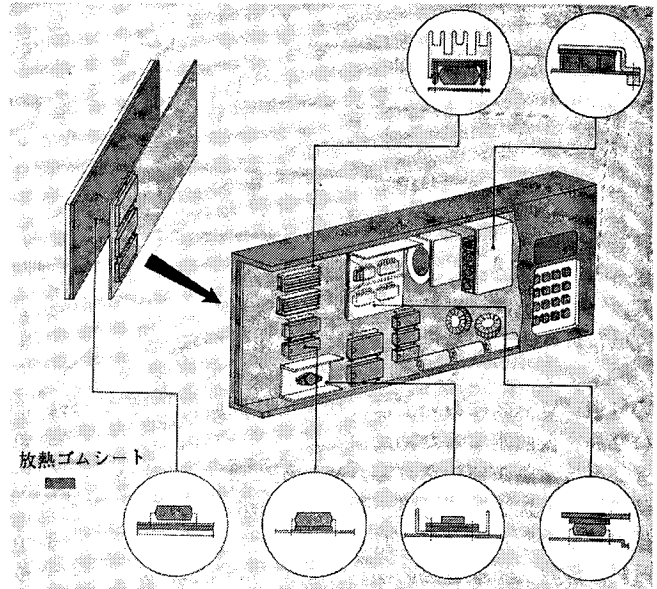


図4 放熱用ゴムシートの使用例

属の外層にウレタンゴムが加硫接着されている。なお、最近では、ゴムの加硫成形に変わって熱可塑性エラストマーの射出成形品も製造されている。

4.3 放熱ゴムの接着

電子機器・部品の高密度化・ハイパワー化に伴い放熱対策が重要になっている。そこで図4に示すように、プリント基板と外層ケースとの間、モジュールとプリント基板の間や放熱フィンの間などに放熱特性の優れたゴムシートをはき込んで、接触面の微細な凹凸を埋めて隙間をなくして熱抵抗を減らし熱伝導効果を高めることがなされている。この放熱ゴムシートには、高い電気絶縁性と優れた熱伝導性、更にゴム弾性、塑性、粘着性、形状追従性、難燃性、耐環境性などが要求される。放熱用ゴムシートの例としては、ポリオレフィン系エラストマー中に熱伝導に優れた特殊なアルミナ系フィラーを添加したものがある²⁾。

熱伝導性は部品の取り付けねじの締め付けトルクの増大とともに増加するが、部品がねじで固定できない場合や大きなトルクで締め付けられない場合には放熱シートが接着剤を用いて接着される。この接着剤にも優れた熱伝導性が要求され、高熱伝導性フィラーが充てんされた二液室温硬化型ポリウレタン系接着剤などが使用されている。

4.4 板金箱体へのゴム板の接着

重電機器ではハウジングとして金属製の箱体が多用される。これらの金属箱体では充電部の近くでは電気絶縁のためにゴム板が金属板に接着されている。ゴム板としては、クロロレンゴムやシリコンゴムなどが使用され、溶剤系のクロロレン系接着剤が使用されることが多い。

このようなゴム板の接着では、広い板金製パネルに広いゴム板を接着するような部分はほとんどなく、複雑に組まれた板金部品の一部に形状を合わせて切断された種々の形状のゴム板が接着されることが多い。接着箇所は水平面とは限らず、垂直面や裏面や曲面などもある。このため、接着作業は手作業の刷毛塗りで行われることが多い。

接着剤には次のような性能が要求される。塗布の容易さ(できれば片面塗布)、位置合わせの容易さ(貼り合わせ後ずらすことができる)、十分な初期タック(裏面や曲面でも固定が不要)、高温クリーブではく離しない、長期間熱劣化しない、車両機器においては風圧に耐える接着力、など。その他、表面処理の容易さ、年間を通して作業条件が変化しないことなども要求される。

その他に、金属箱体では扉やカバー類の当たり面に防水・防塵パッキンとしてゴムが接着されている。図5は列車無線中継器用筐体、図6は列車

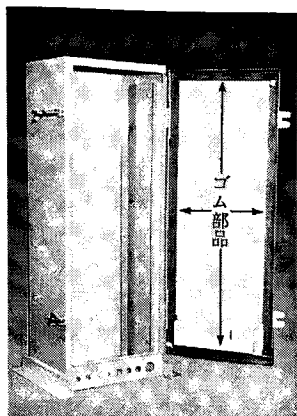


図5 列車無線中継器用筐体

用空調装置室外機(屋根上搭載)の例である。ゴムパッキンの接着には溶剤系のクロロレン系接着剤や両面テープが使用されている。また、箱体のガラス点検窓のゴムパッキンや電力量計のガラスカバーのゴムパッキンなども接着されている。

4.5 小物ゴム部品の接着

緩衝材やばねとして使用される小物のゴム成形部品の接着にはシアノアクリレート系接着剤、シリコン系接着剤、両面粘着テープなどが使用されている。

5. ゴムの接着における課題と要望事項

ゴムの接着においては特に作業性の面で多くの問題を抱えており、次のような改善が望まれる。

5.1 加硫接着

1) 脱溶剤化：環境面、衛生面から脱溶剤化が大きな課題である。米国においては水性の加硫接着剤が適用されつつあるが日本においてはこれからである。性能面の検証試験もさることながら作業性の問題を解決するための製造工程や設備の検討にかなりのパワーが必要と思われる。

2) 製造工程における温湿度の影響を受けやすい。作業環境の影響の少ない接着剤の開発に期待したい。

5.2 後接着

1) 脱溶剤化：ここでも溶剤系接着剤からの脱皮が大きな課題である。水性タイプ接着剤も開発されているが、乾燥時間、片面塗布での接着性、二液水性接着剤の場合は二頭ガンによるスプレー

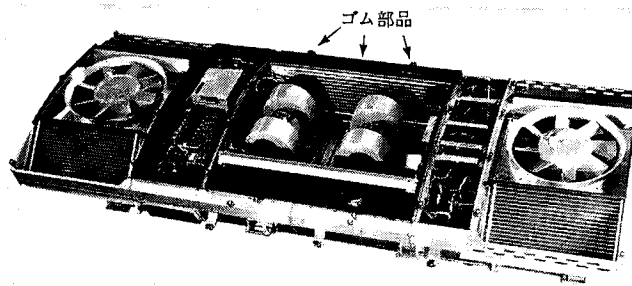


図6 列車用空調装置室外機(屋根上搭載)

塗布には適するが刷毛塗りでは使用できない、など問題が多い。

2) 接着面の前処理：大きなもの的一部分に接着する場合には、全体を化成処理したり水洗浄して脱脂することはできないので、溶剤による拭き取り脱脂を行う。しかし、作業者は防毒マスクを着用する必要があり作業環境や衛生面で問題である。少々の油が付着していても充分な接着性能が得られる接着剤の開発に期待したい。

3) 反応性ホットメルト粘接着剤：現在の反応型接着剤のほとんどは水分との反応で硬化が進行していく。しかし、ゴム板と金属の接着においては貼り合わせ後に水分の供給ができないので反応が進まないという問題があり適用できない。水分以外の反応を併用した反応型ホットメルト接着剤の開発に期待したい。なお、金属板を予備加熱しておくことは困難であるので、ホットメルトは塗布冷却した時点では強力な粘着性を有しており、反応終了後も適度な柔軟性を有することが望ましい。

4) 二液無溶剤型接着剤：二液を混合塗布した後に強力な粘着性を発生し、その後反応固化する接着剤も開発して欲しいものの一つである。

5) ゴムパッキン類は定期点検の際に貼り替えられることが多い。ところがすでに接着されたものをはがして、再接着に影響がないように接着面をきれいにするには非常に労力のかかる作業である。貼り替え作業性に優れた接着剤の開発に期待したい。

また、ゴムの接着に限った話ではないが、次に述べる接着設計技術においてはデータベースが非常に重要である。接着剤自体の物性、接着性(被着材料の表面との関係)、接着強度、耐久性などのデータベースの充実を期待したい。

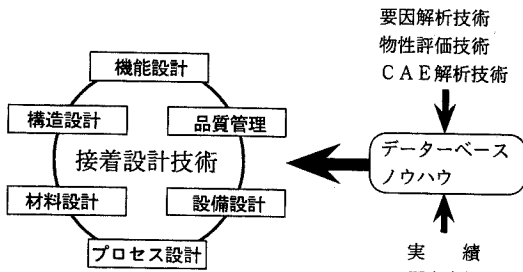


図7 接着設計技術の概念

6. 接着設計技術

6.1 接着設計技術と要素技術

「接着設計技術」とは、接着の利点を最大限に活用し、欠点をカバーして、高性能・高機能でばらつきが少なく信頼性に優れた製品を低コストで製造するための技術のことである。

「接着設計技術」は、図7³⁾に示すように、接着技術に関係する機能設計、構造設計、材料設計、プロセス設計、設備設計、品質管理などの要素技術で構成されている。これらの要素技術が、データベースやノウハウに裏付けされて有機的につながりシステム化されたものが「接着設計技術」である。

各要素技術について要点を以下に示す。

1) 機能設計

機能設計は、接着接合が有する多くの利点、機能を製品設計にいかにかまく生かすかであり、一つの接着で接着のもつ効果をいかにかまく達成させられるかがポイントである。

2) 材料設計

材料設計では、接着剤に過大な要求を強いられることが多いが、被着材料の種類の変更や簡単な表面改質で接着特性が飛躍的に改良されることが非常に多く、被着材料側の検討が非常に重要である。また、プライマーやカップリング剤も重要な材料である。

3) 構造設計

構造設計といえば、通常、高強度を得るための継手設計と考えられがちであるが、接着剤を利用した組み立てはねじや溶接など従来の構造のままではうまくいかない場合が多く、接着剤に適した部品構造を考えることが大きなポイントである。例えば、接着剤の塗布がしやすい構造、塗布した

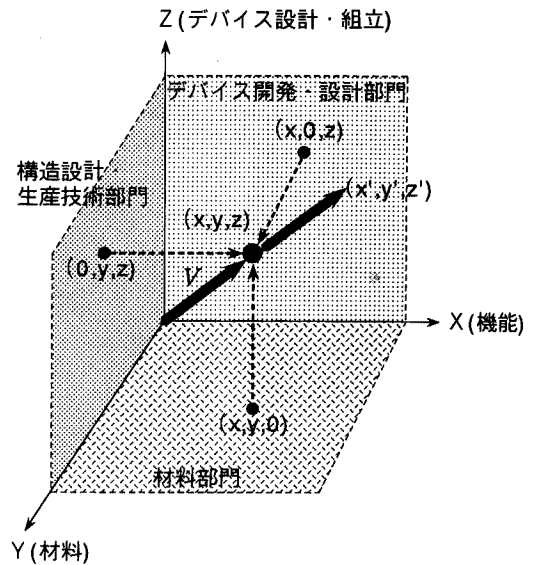


図8 「接着」に関わる3部門の相関関係

接着剤がたれたり搔き取られたりしない構造、硬化までの仮固定が容易な構造、接着部のはみ出しを防止する構造など。また、耐久性の点でも接着剤の性能に過大な要求がなされることが多いが、接着部の形状・寸法を変更するだけで要求特性を満足できることは多々ある。

4) プロセス設計、設備設計

プロセス設計、設備設計は、材料設計および構造設計と表裏一体の関係にあり、同時進行で検討を繰り返すことが必要である。プロセス設計では、個々の作業工程における最適条件と許容範囲を明確にすることが重要であり、設備設計では常に許容範囲に入る設備を設計することが後の工程管理を容易にする基本である。なお、材料設計および構造設計では許容範囲をできるだけ広くできるように、プロセス設計、設備設計ではできるだけ最適条件に近い条件で作業ができるように材料、構造、プロセスを改良する。

5) 信頼性設計

信頼性設計は、ばらつきが少なく再現性の高い接着特性を得るための検討であり、材料設計、構造設計、プロセス設計、設備設計、品質管理の全てに関係している。ばらつきを減らして高い再現性を得るための基本は、接着特性に影響を及ぼすあらゆる因子を洗い出し、各因子および主要な因

子の組み合わせにおけるデータを取り、各因子に対する最適条件と許容範囲を明確にすることである。

6.2 二次元の技術から三次元の技術へ

以上に述べたように、接着を上手に使いこなすためには、機能設計で接着法の採用によりいかに新しいコンセプトの構造や製造法を創造できるか、構造設計、材料設計、プロセス設計で接着特性に影響する諸因子に対していかに広い許容範囲を確保できるか、設備設計で許容範囲に入りメンテナンスが容易な設備をいかに作るか、品質管理においては、不適切なものを未然にいかに容易に見つけだせるか、が重要である。

しかしながら、これらの要素技術は広範囲の技術分野にわたっており、技術的に相反する点も多く、これらの要素技術を有機的に結びつけるのは容易ではない。

通常の製品開発においては、設計部門、生産技術部門、材料部門がプロジェクト的に参画する。これら3部門の「接着」に関わる相関関係を概念的に図8に示した⁹⁾。X軸は、デバイスが必要とする機能および材料に要求される機能(電氣的、熱的、機械的、光学的、化学的など)に関する軸であり、Y軸は材料の種類や物性(エポキシ系、ウレタン系、光硬化、ガラス転移温度、弾性率、収縮率、膨張係数など)に関する軸であり、Z軸は、デバイスの構造や材質、組み立てプロセスなど(部品の材料、表面処理、接合部の形状・寸法、硬化方法・条件、接合の前後工程など)に関する諸因子である。一般に、X-Z面はデバイス開発・設計部門、X-Y面は材料部門、Y-Z面は構造設計・生産技術部門が担当しており、それぞれ専門性が高いため相互に立ち入ることができないことが多い。

例えば、光部品においてレンズやミラーをひずみなく接着する場合を考えてみる。デバイス開発・設計部門は機器の目的を達するためにレンズやミラーの形状・寸法や材質、取付部の形状・寸

法や材質、ひずみの許容値などを提示してくる $(x, 0, z)$ 。次に、材料部門では、要求機能の低ひずみを実現するために硬化収縮率や膨張係数が低い材料の開発を行う $(x, y, 0)$ 。最後に、構造設計・生産技術部門では、デバイス開発・設計部門から出された機能上の制約条件のなかで、材料部門が開発した材料を用いて、コンパクトで組み立てやすくするための構造やプロセス、設備を設計していく $(0, y, z)$ 。構造やプロセス、設備の面から材料部門へ改良の要求が出される場合も多い。このように、二次元的側面の組み合わせでは、デバイス開発・設計部門と構造設計・生産技術部門の両方から材料開発部門へ過大な要求を強いられることとなり、要求を満足できず機器の開発自体が困難になる場合もある。

ここで、最終的に求められているものは、二次元的なX-Z面 $(x, 0, z)$ 、X-Y面 $(x, y, 0)$ 、Y-Z面 $(0, y, z)$ 上に存在するのではなく、X-Y-Z空間 (x, y, z) 上にある。二次元的座標の組み合わせでは (x, y, z) 座標は1点に収束するとは限らない。1点に収束させるためには、それぞれの部門がベクトルVで目標座標 (x, y, z) を目指していくことが必要である。これができると、目標座標の (x, y, z) は従来よりより大きな座標 (x', y', z') に到達できることが期待される。

3部門を有機的に結びつけるためには、個々の要素技術についてしっかりした評価、解析を行いデータベースを蓄積することが重要である。

参 考 文 献

- 1) 東洋高砂乾電池㈱「エスカレーター・ハンドレール」カタログ(1998)
- 2) 三菱電機㈱製「TF ラバー」
- 3) 原質康介：電気・電子機器における接合設計，有機エレクトロニクス材料研究会編(1998)ぶんしん出版，p.7
- 4) 大場洋一：今なぜ接着なのか，有機エレクトロニクス材料研究会編(1998)ぶんしん出版，p.1

*

*

*

*

*