

## はじめに

図1をご覧いただきたい。被着材を接着剤でくっつけた状態の模式図である。接着したものがその機能を果たすためには、被着材、接着剤及びその両者の界面が使用目的に耐えるだけの強度を有していなければならない。つまり、界面にも必要な外力に耐えるだけの相互作用が要求されるのである。接着のメカニズムという言葉は、その界面の相互作用がどのように成り立っているかということの説明するものであると筆者は理解している。

接着接合物の被着材－接着剤間の界面相互作用については、機械的結合説、化学結合説、分子間力説、静電気説、拡散説、酸－塩基相互作用説等、諸説が唱えられている。

機械的結合説は、被着材表面を拡大してみれば、無数の凹凸があるという前提に立っている。接着剤は塗布時は液体であるから、被着材表面の凹部に流れ込んで固まって抜けなくなっていくという説である。接着剤と被着材の界面での化学的な相互作用力は全く考えに入れないで、ボルト・ナットやリベットのように単に機械的な結合により界面が形成されているという考え方である。あたかも、船の錨が海底の砂地に食い込んで船を停泊させているのに似ていることから、アンカー効果あるいはアンカーを訳して投錨効果と呼んでいる。

化学結合説は、接着剤と被着材の界面をわたって化学結合があるという説である。化学者なら誰でも思いつくメカニズムではあるが、化学結合が確かに存在すると証明するのは難しい。何しろ界面そのものを観察する手段が限られていて、傍証から推測するしか方法がないからである。現在、最も確からしい接合界面における化学結合の存在は、ガラスあるいは金属酸化物

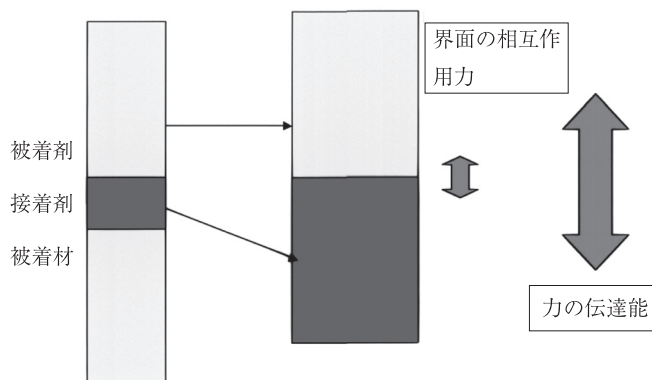


図1 接着界面

## はじめに

ゴム・樹脂材料の多くは、単独では強度が弱いため補強して使用される。金属、セラミックス、繊維及び木材等の材料はゴム・樹脂材料の有効な補強材であるが、この複合化技術の一つに接着がある。タイヤ、ベルト、防振ゴム、免震ゴム及び工業機能部品、電子電気部品、塗料部品等プラスチック、塗料やゴム製品の多くが接着技術を用いて製造されており、接着はものづくり工業において最も重要な生産加工技術の一つである。ものづくりは製品設計、組み立てそして機能性を発現させるための接着、接合技術が重要な役割を担っている。異種材料、同種材料の接着では、主として材料の表面界面制御が接着の信頼性を高める上で重要である。接着物の品質を保証するためには接着接合メカニズムを解明することが必要であり、被着体の化学構造及び物理構造、部材の表面性状形態を明らかにし、接着過程における部材の洗浄、接着剤やカップリング剤のぬれ性、被着体の流動過程、そして形成した接着界面を分析し、接着破壊過程を詳細に解析し、さらには寿命予測等を分析解析することが重要となる。最近の分析技術の発展は目覚ましく、表面分析評価に用いられる装置の種類は増加し、コンピューターの導入、分解能の高いX線源が開発され、アナライザーの性能も数年前よりも向上し、以前では測定されなかった新たなスペクトル情報を得ることができる。それによって接着材料の開発、接着製品管理や不良解析等に対応できる表面界面分析の役割が重要となっている。

本稿では各種表面分析機器の特徴と活用方法を概説し、X線光電子分光法(XPS: X-ray Photoelectron Spectroscopy, ESCA: Electron Spectroscopy for Chemical Analysis)による基材表面に形成したトリアジンチオール化合物被膜の表面化学状態分析と接着物の界面分析方法、水晶振動子マイクロバランス(QCM: Quartz Crystal Microbalance)によるトリアジンチオール系シランカップリング剤の吸着重量測定等について述べる。

### 1. 表面分析方法の分類

接着メカニズムを解析するためには接着剤や表面処理剤の分子レベルでの構造解析は必要不可欠である。最初に接着物またその材料を分析する上で、異種成分が混合した材料を成分ごとに個別に分離し、測定試料として取り出すことを的確に行わなければならない。表面分析方法としては試料の破壊または非破壊、大気系または真空系での測定分析を行うかを考えることも

## はじめに

神奈川県技術アドバイザー 柳原 榮一

20世紀の高分子化学の進歩により高性能の接着剤が開発されたことで、従来からの接手法であるネジ止めや溶接に代わって接着剤を使用する接着接合の手法が工業界で広く採用されている。

いくつかあるつなぐ手法の利点と欠点を表1に示した<sup>1)</sup>。それぞれの手法に一長一短があるものの接着剤を用いた場合には、利点として異種材料を組み合わせて接合することが可能であることや、表面の平坦性が確保できたり面の接合による応力集中の低減などが挙げられる。

一方、欠点としては得られる接合強さのばらつきが第一にある。また、接着剤の大半が有機物であることから耐熱性に限界があるのは止むを得ないことである<sup>2)</sup>。しかし、接着した面を剥離することは容易ではなかったが、近年は接着部の剥離を考慮した接着剤も開発されている<sup>3)</sup>。

表1 つなぐ手法の利点と欠点

手 法	利 点	欠 点
ねじ・ボルト	作業が容易 取り外しが容易 異種材料の接合	平坦性が悪い 穴あけ加工が必要 薄板には不向き
リベット・カシメ	作業が容易 異種材料の接合	平坦性が悪い 穴あけ加工が必要
溶 接	接合強さが大	高温が必要 歪みの発生が大
はんだ付け	作業が容易 導電性	高温が必要 フラックスが必要
接 着	異種材料の接合 平坦性が大 応力集中が小	接合強さがばらつく 耐熱性が不十分 取り外しが困難

接着強さがばらつく要因には接着剤の使用方法もあるが、大半は被着材の表面状態が影響するといえる。接着強さの発現には表2に示したような事項が関係しているが<sup>4)</sup>、二次結合力(ファンデルワールス力)が大半を占めるとされており、この力を高めるには接着剤分子との

## 第1節 接着接合部劣化による故障発生メカニズム

元 名城大学 / 中部大学 鈴木 靖昭

### 1. 経年劣化による故障の発生について

接着当初には十分な接着強度があっても、屋外暴露(風雨・太陽光)、応力負荷、振動等の使用環境によって経年劣化が生じ、トラブルが発生する。図1のように、ストレス(使用応力・設計応力)分布曲線と材料(接着継手)の強度分布曲線が、初期においては重なりを持たなくても、経年劣化により強度が下がり(平均値 $\mu$ の減少)、ばらつきも大きくなる(標準偏差 $\sigma$ の増加)とともに重なりを持つようになり、破壊が起こる<sup>1)</sup>。したがって、接着継手は実使用条件と同様な湿潤・応力負荷条件下の耐久性試験、促進耐候性試験、

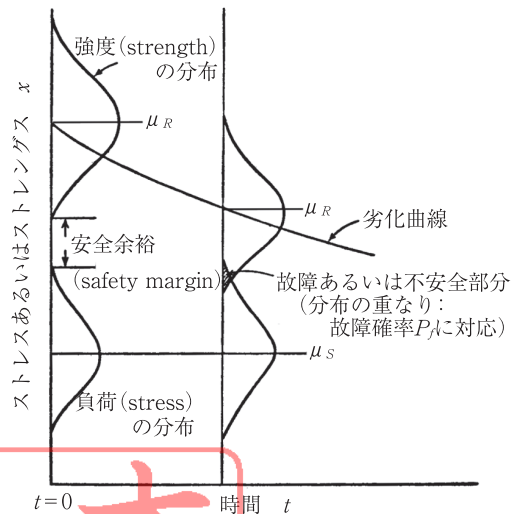


図1 ストレス-強度のモデル<sup>1)</sup>

疲労試験等の促進試験を行って、経年劣化による強度分布を確認しておくことが重要である。図1の重なり部分の面積に対応する破壊確率 $P_f$ の計算法を以下に述べる。

### 2. 正規分布について<sup>2,3)</sup>

正規分布は、偶然が原因の積み重ねによって生じる事象の多くが従う分布とされ、多くの部品からなるアイテムの故障分布や材料強度の安全率(安全係数)の検討等に活用できる。

正規分布においては、測定値 $x$ が得られる確率密度関数 $f(x)$ 及び故障確率関数 $F(x)$ が、次の式によって表される。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right\} = \text{NORMDIST}(x, \mu, \sigma, \text{FALSE}) \quad (1)$$

## 第1節 信頼性の高い接着を実現するための正しい基礎知識

(株)原賀接着技術コンサルタント 原賀 康介

### はじめに

接着接合は、機器の小型化、軽量化、高性能化、高機能化、コストダウン等に大きな効果が得られるため、近年各種の産業分野で急速に用途が増加している。一方、用途の増加につれて、市場における接着部の不具合や、接着組立工程における不具合が増加していることも事実である。

接着接合の作業そのものは特別な熟練技能や高度な設備を必要とするものではないため、簡単な教育や研修だけで実施されていることが多い。「見よう見まね」で接着剤を使っているというのが現実である。

接着強度が高く、強度のばらつきが少なく、耐久性にも優れた接着を高信頼性接着という。接着接合は、完成後の検査はほとんどできないため、高信頼性接着を行うためには、設計段階での材料、構造、プロセス、設備、品質管理法の作り込みと、作業段階における工程管理、プロセス内検査が重要である。しかし、どのような点に注意して作り込めば良いのかについてはあまり知られていない。例えば、接着に適していない表面状態の部品を接着しても良好な接着性能は得られない。ではどうやって接着前に部品の接着面の状態を見分けるかというようなことであり、これは、魚や野菜の新鮮さやおいしさをどうやって見分けるかと類似している。

ここでは、40年近くにわたって機器組立に接着剤を活用し、高信頼性接着の技術を構築してきた筆者が、主として接着剤のユーザーの立場から、ばらつきが少なく信頼性の高い接着を行うための接着技術の正しい基礎知識をわかりやすく解説する。もちろん、接着剤を開発、製造、販売される接着剤メーカーの方にも読んでいただき、より高性能で使いやすい接着剤の開発に繋がり、接着剤のユーザーとメーカーが相互に連携して接着の高信頼性化を図っていくための一助としていただきたい。

### 1. 高信頼性接着の基本条件

#### 1.1 良い破壊状態と良くない破壊状態

##### 1.1.1 凝集破壊と界面破壊

良好な接着状態ができているかどうかは、接着したものを破壊して判定することが一般的である。図1は、接着接合物の断面の模式図で、外力を加えたときには、接着剤の内部または

## はじめに

電子部品は非修理系製品であり、それらが搭載される電子機器の寿命よりも長い寿命が期待されている。最近では電子機器も、システムの定期的な点検に合わせた事前交換が許容されず、システムの寿命よりも長い寿命が期待されるようになり、結果として搭載されている電子部品に期待される寿命も、システムよりも長くなってきている。このように、システムを電子化することにより、高性能化、軽薄短小化、大量生産による低コスト化の他に、高信頼性も確保できるようになってきたので、電子部品の応用範囲の拡大は著しい。

このような背景もあり、従来電子部品の使用環境として想定されていた周辺環境条件や回路機能を実現する動作条件の範囲に留まらず、振動、衝撃、機械的応力、腐食性ガス、吸湿、結露、電磁波、放射線、高電力駆動、さらには誤使用の影響等、電子部品の寿命に影響を与えるストレスの多様化と、それらストレス強度の範囲拡大も進んでいる。そして、これらの使用環境の変化が、今まで経験したことのない故障を目の当たりにさせたり、既に解決済と考えていた故障問題を再発させたりすることにもつながっている。

使用環境が多様化することで、同じ電子部品でも使用中に印加されるストレスに応じて顕在化する故障が変化し、電子部品の寿命を予測する場合には、実際の使用環境情報を考慮に入れることが従来以上に重要になっている。どのようなストレスがどれほどの強さで印加される環境であり、そのようなストレスに対して、どれだけの耐性を持った電子部品であるかを見極めておかなければならない。そのストレスの強さと耐性のバランスの結果として、最も寿命が短くなる故障モードが、実際に市場で顕在化しやすくなっている。このことは、規格化された一定の試験条件と試験時間の範囲において故障が発生しないことを確認しただけでは、実際の市場での寿命を正確に予測することが困難になっていることを意味しており、そのような規格の試験で合格したものでも、ユーザーが廃却する前の使用中の段階で顕在化する故障がなくなると言う問題を残す原因の一つにもなっている。

以下の項では、限られた数の試料を使って、ユーザーが期待する寿命を有することを検証するための試験計画の立て方と、得られた試験結果から寿命を予測するための試験結果の解析手順について説明している。その際に事例として、樹脂封止電子部品のはんだ耐熱性や、はんだの接合寿命を調べた結果を紹介している。

## はじめに

近年、地球温暖化等グローバルな気候変動問題への対策として、クリーンエネルギーを利用できるハイブリッド自動車(Hybrid Electric Vehicle : HEV)や電気自動車(Electric Vehicle : EV)の開発が加速している。これらの車両に共通して搭載される要素が、バッテリーとモータ及びインバータである。パワーモジュールは、このインバータの主要構成部品であり、バッテリーに蓄えられている電力を制御しながら駆動モータに伝える重要な役割を担っている。つまり、パワーモジュールはこれらの車両の動力性能をコントロールする非常に重要な部品であり、安全性を確保するために高い信頼性が要求されている。また同時に、一般の車載部品と同様に小型軽量化や低コスト化も求められており、近年、車載用パワーモジュールの実装技術は飛躍的な進化を遂げてきた。特に、図1に示すように、初期の車載モジュールは産業用に比べて厳しくなる耐久条件に合わせて信頼性向上が図られたが、その後は、リードフレーム構造やベースレスのダイレクトクーリング構造、また両面放熱構造等の採用によって放熱性が改善されパワー密度の向上(小型化)が図られてきた<sup>1)</sup>。そして今後は、シリコン(Silicon : Si)と比べて大幅な損失低下や高温動作が可能と言われていた炭化ケイ素(Silicon Carbide : SiC)パワーデバイスに注目が集まっており、デバイスの損失改善と実装構造の高耐熱化によってさらなる小型化が期待されている<sup>2)</sup>。

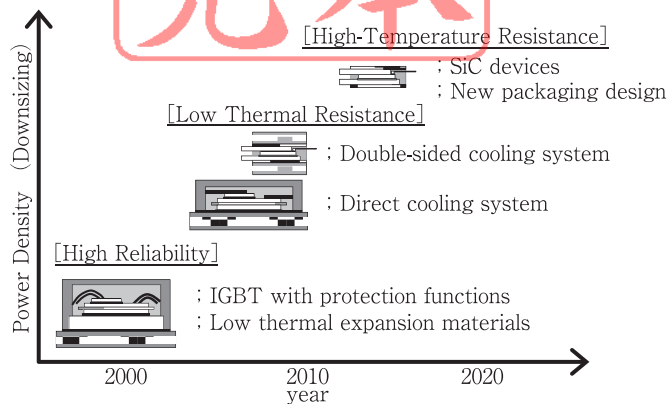


図1 車載パワーモジュールの進化<sup>1)</sup>