

接着による異材接合の事例

原賀 康介〔(株)原賀接着技術コンサルタント〕

接着の特徴と課題

接着接合は、金属・樹脂・ゴム、木材・紙、ガラス・セラミックス・石材・コンクリートなどを相互に簡単に接合できるという大きな特徴がある。しかし、接着は二つの材料の表面での分子間力による接合であり、共有結合や金属結合に比べると結合力は非常に弱く、単位面積当たりの接合強度は他の接合法に比べると低い。このため、接着部に大きな力や局所的な力が加わると壊れやすいという大きな欠点を有している。特に、異種材料の接着では、それぞれの部材および接着剤の線膨張係数をはじめとする諸物性が大きく異なるため、加熱硬化や使用中の温度変化で生じる熱応力による接着部の破壊や部品の変形が大きな課題であり、多くの技術開発のうえで実用化に至っている。

以下に、接着による異種材料接合の事例を述べる。

異種材接着の事例

人工衛星

—CFRP/アルミ/CFRP/カプトン/Si/ガラス—

人工衛星では、軽量化を図るためにハニカムパネルが多用されている。図1⁽¹⁾は、準天頂衛星みちびきの外観である。太陽電池パネル、アンテナ、各種の機器が搭載される構体のパネルにハニカムサンドイッチパネルが使用されている。図2⁽²⁾⁽³⁾は、太陽電池パネルの構成の一例である。太陽電池パネルの寸法は、約2.5m×約3m/枚、厚さ25mmである。人工衛星は、-150℃から+200℃のヒートサイクルが加わる状態で、温度変化による変形や熱応力を回避する必要があり、ハニカムパネルの表面材には、剛性が高く線膨張係数がほぼゼロのCFRPが用いられている。ハニカムコアはアルミ製で、コアと表面材は、フィルム状のエポキシ系接着剤で接合されている。接着剤も面密度が小さい軽量なものが使用されている。

CFRPアルミハニカムパネルの表面には絶縁のためにカプトンフィルムが接着され、その上に高効率シリコン太陽電池(約4cm×6cm、厚さ200μm)が接着されている。個々の太陽電池の表面には低エネルギープロトンによる放射線劣化を低減させる目的で、カバーガラス(厚さ100μm)が透明な接着剤で接着されている。カバーガラスおよび太陽電池の接着には、低温から高温域で特性が変化せず、温度変化による熱応力を低減するために柔軟な二液付加型シリコン系接着剤とプライマーが使用されている⁽⁴⁾。

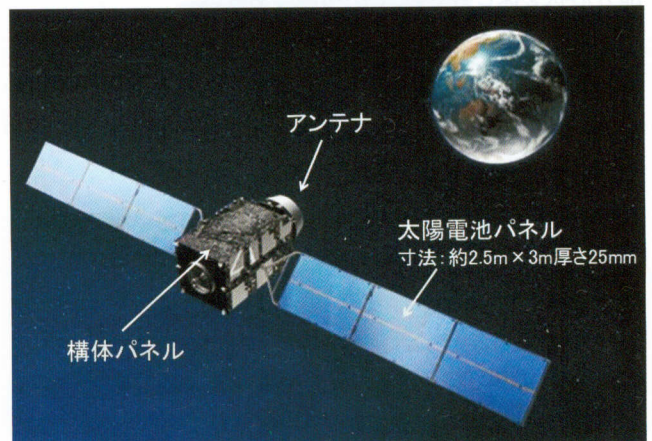


図1 準天頂衛星みちびき初号機

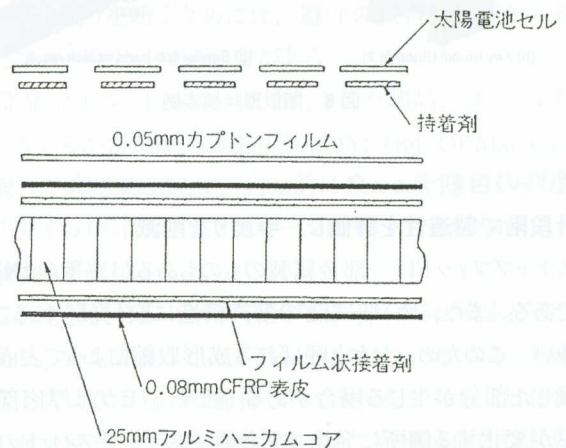


図2 人工衛星の太陽電池パネルの構成の一例

構体パネルには発熱量の大きい電子機器が多く搭載されているため、図3⁽²⁾⁽⁵⁾に示すように、ハニカムパネルに放熱のためのヒートパイプを埋込んだヒートパイプ埋込み型パネルが使用されている。ヒートパイプとハニカムコアおよびパネル表皮の接合にはフィルム状のエポキシ系接着剤が使用されている。

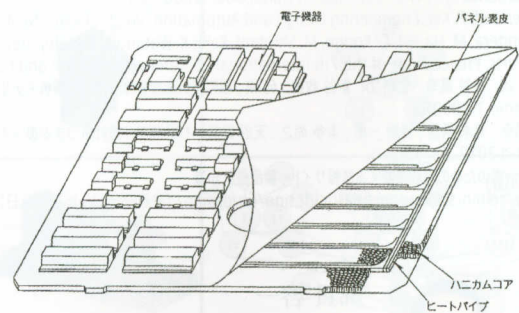


図3 ヒートパイプ埋込み型パネルの構成

高精度大型宇宙電波望遠鏡

—CFRP/アルミ/CFRP—

図4⁽⁶⁾は、宇宙の起源を探る口径45mの大型宇宙電波望遠鏡である。この電波望遠鏡は、遠い宇宙から来る微弱なミリ波領域の電波を観測するため、反射面にはきわめて高い鏡面精度が要求され、反射面全体で0.1mm (RMS) 以下の精度が必要である。この反射鏡は、図4に見られるように、径方向と円周方向に分割された扇形のパネル(図5)600枚で構成されている。パネル一枚の大きさは約2.5m×1.5m、厚さ100mmで、反射面の精度は0.05mm (RMS) 以下が必要である。個々の反射パネルには、季節や昼夜の気温の変化(-30~+60°C)に伴う熱変形を抑えるために、人工衛星と同様に、線膨張係数が小さなCFRP表面材とアルミハニカムコアを用いた三次元の曲面サンドイッチパネルが採用されている⁽⁷⁾。アルミハニカムコアとCFRPスキンは基材にエポキシ樹脂を含浸させたプリプレグにより接着接合されている。硬化は、人工衛星用パネルと同様に、オートクレーブという装置を用いて行われるが、パネルの変形を極小に抑え鏡面精度を確保するために、接着硬化反応を正確にコントロールする専用が開発されたプログラムにより制御されている⁽⁷⁾。1981年に完成してすでに37年が経過しているが、現在も高精度を維持して活躍している。

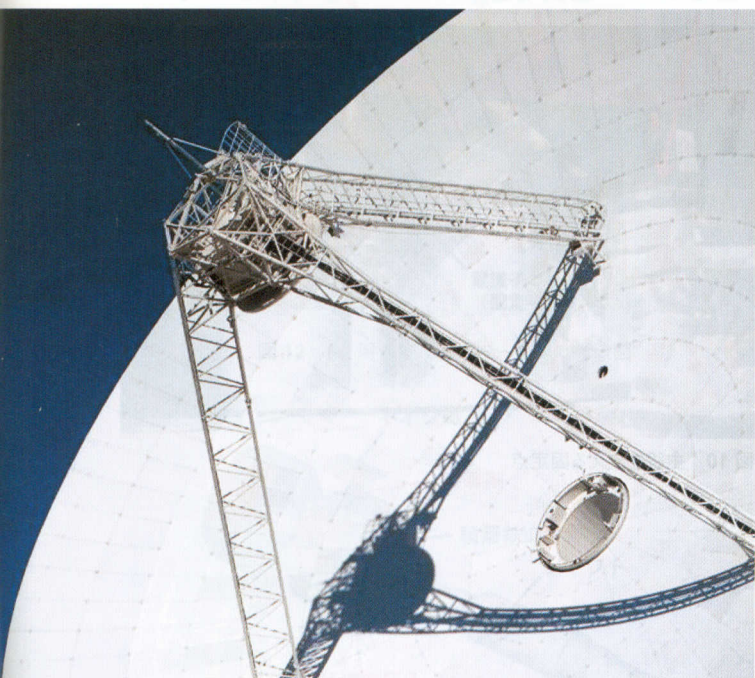


図4 口径45mの大型宇宙電波望遠鏡(国立天文台野辺山電波観測所)600枚に分割された扇形の形状が見えている

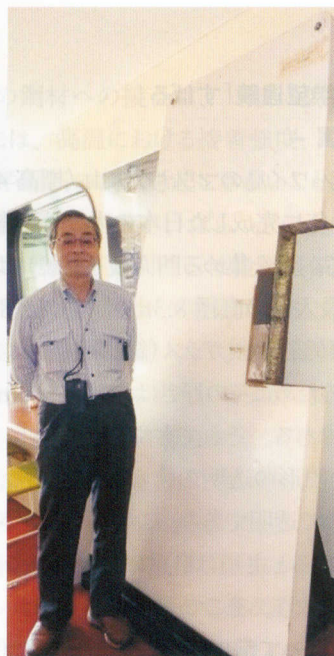


図5 1枚の扇型パネル

軽量ハニカム床タイル

—亜鉛めっき鋼板/アルミ/亜鉛めっき鋼板/大理石—

ハニカムパネルは軽量で剛性に優れているため、航空機や車両、エレベーターなどの床材としても使用されている。ハニカム床では、パネル上面に床マットやタイルが接着されるが、エレベーターでは、高級意匠として天然大理石が使用される物も多い。床には、荷物運搬の台車の車輪や靴の踵などの局部荷重が加わるため、大理石が割れないためには25mmから50mmほどの厚さの大理石が必要となり、大理石だけで数百kgの重さとなる。そこで、図6⁽⁸⁾に示すようなハニカム大理石タイルが使用されている。例えば、15mm厚さのハニカムパネル(アルミハニカムコア14mm+0.5mmの亜鉛めっき鋼板両面)に5mm厚さの大理石が接着された物である。2m角の床では、厚さ30mmの大理石では312kgから348kgであるのに対して、ハニカム大理石タイルでは52kgから58kgであり、大幅な軽量化を図ることができる。ハニカムパネルの製造およびタイルの接合は接着で行われている。

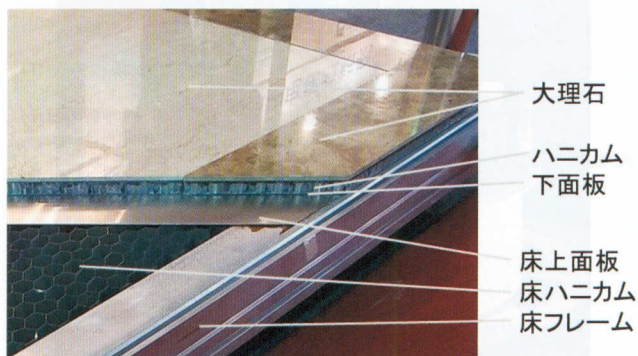


図6 ハニカム構造床とハニカム大理石タイルの構造

大型赤外線光学望遠鏡「すばる」

－ ガラス / 金属 －

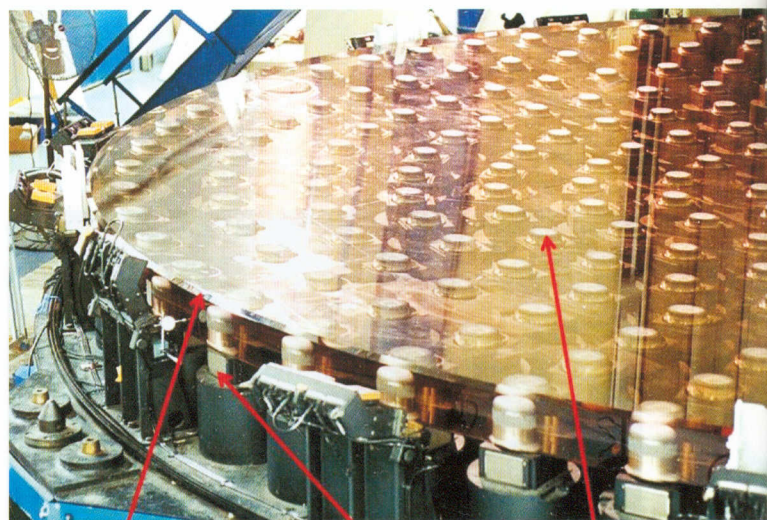
図7⁽⁹⁾は、ハワイ島のマウナケア山（標高4,200m）の山頂にある1999年に完成した日本の大型赤外線光学望遠鏡「すばる」である。光を集める凹面鏡（主鏡）は、一枚物としては当時世界最大級の直径8.3m（有効口径8.2m）という大きなもので、超低熱膨張ガラス（線膨張係数： 10^{-8} ）でできている。軽量化のためにその厚さはわずか20cmしかなく、ぺらぺらの状態である。それでも主鏡の重さは22.8トンもある。図8⁽¹⁰⁾の円形の透明の物が主鏡である。反射面はアルミ蒸着前なので透明である。この薄くて重い主鏡を種々の観測方向に向けると主鏡は自重による変形で歪んで観測ができなくなってしまう。そこで、「すばる」では、261本のアクチュエーターによって常に鏡を理想的な形に保つ能動制御方式がとられている。図8でぼつぼつと見えるのは、主鏡のガラスに彫り込まれてアクチュエーターの首が埋め込まれている部分である。主鏡のガラスに掘られた261箇所、深さ15cmの穴には、線膨張係数が小さな金属製のスリーブが接着固定されている。図9⁽¹⁰⁾は、スリーブとガラスの接着試験体であり、スリーブの形状と分割された接着部が見える。

また、主鏡を支えて動かす部分は、図10⁽¹¹⁾の左側に見える固定点と呼ばれる支持部分で、3箇所の固定点で主鏡全体が支えられている。固定点はやはり線膨張係数が小さい金属で作られており、直径は約30cmで、図11⁽¹²⁾に示すように、36箇所の花びら状に並んだ固定点パッドで主鏡と接着されている。

これらのガラスと金属の接合には、まさに接着剤の異種材料接合性が生かされている。温度変化や外力によって接着部に大きな力が加わるとガラスが割れる危険性が高くなるので、接着剤には柔らかい二液室温硬化型エポキシ系接着剤が使用されている。



図7 大型赤外線光学望遠鏡「すばる」（国立天文台ハワイ観測所）



主鏡φ8.3m、厚さ20cm アクチュエーター アクチュエータースリーブ

図8 主鏡とアクチュエーター

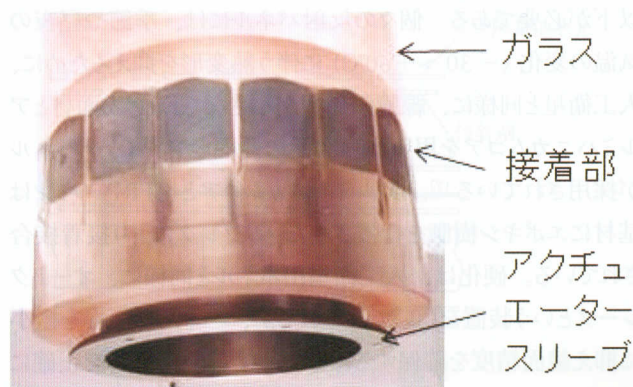


図9 スリーブとガラスの接着試験体

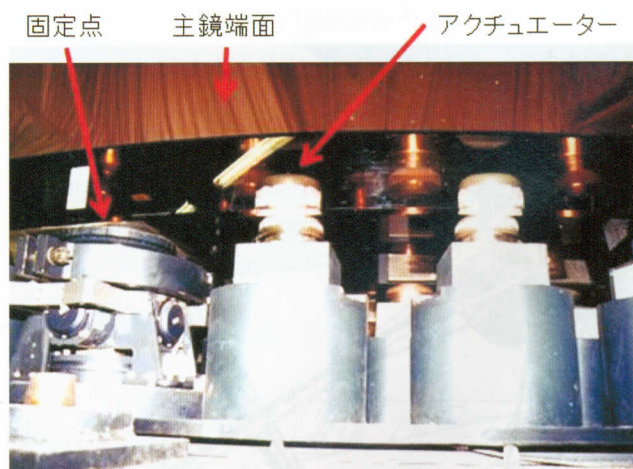


図10 主鏡を支える固定点

主鏡表面(蒸着前) 固定点パッド(接着部)

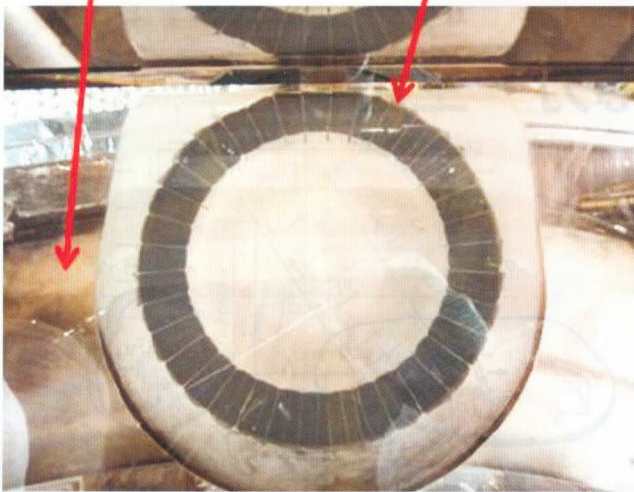


図 11 主鏡の表側から見た固定点パッドの接着状態

モーター

— 永久磁石 / 鋼、鋼・SUS/ アルミ、鋼 / ガラス・PL—

モーターの小型・軽量化、省エネ・高効率化のために永久磁石化が急速に進んでいる。磁石は希土類系、フェライト系などが使用されるが、最近では強力な Nd-Fe-B 系磁石が多い。Nd-Fe-B 系磁石は腐食しやすいので、磁石の表面はめっきや塗装がされるものが多い。

永久磁石はセグメント状やリング状など種々の形状がある。小型のモーターでは図 12⁽¹³⁾ に示すようなリング状磁石が、中型以上では図 13⁽¹⁴⁾ に示すようなセグメント状磁石が使用されている。

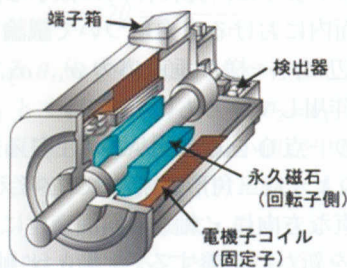


図 12 FA 用小型サーボモーターの構造図

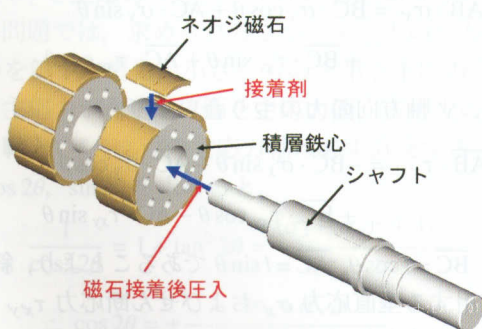


図 13 中型 AC サーボモータのロータの構造の一例

永久磁石の鋼材への接合は、一般に接着で行われている。接着剤には、高温における接着強度、ヒートサイクルによっては離れや磁石の割れを起こさないこと、耐疲労特性、耐熱劣化性、作業性の良さ、ばらつきのお少ななどが要求される。特に、Nd-Fe-B 系磁石は線膨張係数がゼロからマイナスであるため熱応力対策が重要である。接着剤としては、モーターの最高温度や発生トルク、回転数など接着部に加わる条件により、二液型エポキシ系接着剤、一液加熱硬化型エポキシ系接着剤、二液室温硬化型変性アクリル系接着剤 (SGA)、嫌気性接着剤、一液加熱硬化型シリコン系接着剤、二液型シリコン系接着剤、シアノアクリレート系接着剤 (瞬間接着剤) などが使用されている。

大型のエレベーター巻上機でも永久磁石の接着接合がなされている。ロータがかなり大きいので、加熱硬化型接着剤の使用は困難であり、二液室温硬化型変性アクリル系などの室温硬化型接着剤が使用されている。

モーターでは、永久磁石接着の他にも多くの接着が使われている。例えば、鋼やステンレスのベアリングの外周とアルミハウジング間、ベアリング内輪とシャフト間の固定、鋼製シャフトとガラスやプラスチック製エンコーダーの接着などがある。エンコーダーの円盤は、接着剤が硬化するときに生じる体積収縮によって接着剤に引っ張られて、円盤が反ったり軸ずれを生じることがある。接着剤硬化後の温度変化による接着剤の膨張収縮によっても軸ずれや円盤の反りが生じる。そのため、エンコーダー用接着剤には、低硬化収縮性、低線膨張係数、高 T_g (ガラス転移温度) などが要求される。

参考文献

- (1) AXA 宇宙航空研究開発機構 <http://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=909091bc7a47c96beebd24b71f253a82> (参照日 2019年2月23日)
- (2) 原賀康介: "構造接着技術の応用展開と最適化技術の構築", 日本接着学会誌, Vol.39, No.9 (2003), p.349.
- (3) 井上登志夫: "宇宙機器に適用されるハニカムサンドイッチ構造", 工業材料, Vol.38, No.9 (1990), p.39
- (4) 原賀康介: "反応型接着剤の電機・電子機器での応用", 接着の技術誌, Vol.17, No.1 (1987), p.64.
- (5) 今谷敏夫, 桜井也寸史, 小林右治, 風神 裕, 大村勝敏: 三菱電機技報, Vol.65, No.10 (1991), p.34.
- (6) 国立天文台 https://www.nro.nao.ac.jp/gallery/images/45m_tac0006.JPG (参照日 2019年2月23日)
- (7) 田嶋尚志ほか: 三菱電機技報, Vol.56, No.7, 31 (1982).
- (8) 原賀康介: "高信頼性接着の実務" (日刊工業新聞社) (2013), pp.38-40.
- (9) 国立天文台 http://subarutelescope.org/Gallery/gallery_images/dome_subaru2_s.jpg (参照日 2019年2月23日)
- (10) 中桐正夫: 国立天文台天文情報センターアーカイブ室: アーカイブ室新聞 2010年10月4日, 第387号.
- (11) 国立天文台 http://www.naoj.org/Introduction/j_tech.html (参照日 2019年2月23日)
- (12) 国立天文台ニュース No.245 (2013.12), p.17.
- (13) 日本接着学会編: "プロをめざす人のやめの接着技術誌本" 5.4.1 電気機器 (原賀康介), pp.196-207 (日刊工業新聞社) (2009)
- (14) 木村行宏, 相馬雄介, 原賀康介: "AC サーボモーター用ロータ Assy の生産技術" 三菱電機技報, Vol.78, No.10, p.33 (2004).



原賀 康介

◎(株)原賀接着技術コンサルタント 専務取締役
首席コンサルタント
◎専門: 接着技術、特に構造接着、接着の信頼性

日本機械学会誌



毎月1回5日発行 第122巻 第1206号 令和元年9月5日発行
昭和22年12月15日第三種郵便物認可 ISSN 0021-4778



特集

異材接合技術の最新動向

5 2019
Vol.122
No.1206