

接着技術の現状と さらなる高度化のための課題と取組み — 構造接着、精密接着、技術者育成 —

(株)原賀接着技術コンサルタント
<http://www.haraga-secchaku.info/>
原賀康介

辛口

1. 接着技術の現状
2. 構造接着技術の現状と課題
3. 精密接着技術の現状と課題
4. 設計指針とデータベースの必要性
5. 接着部の劣化のセンシングとモニタリング
6. 資格認定制度と接着技術者の育成
7. おわりに

本資料の使用は社内限定でお願いします。社外での発表、報告等に引用される場合は、必ず講師に引用許可の確認をお願いします。



1/21

1. 接着技術の現状

日本は、高信頼性・高品質接着の黎明期に入ったところ

- ◆日本における接着技術は、紙・包装、木工・土木関係に始まり、電気・電子・精密機器に展開され、最近では、輸送機器や医療分野へとその適用は拡大し、**接合・組立の重要な要素技術の一つ**となっていると言われている。
- ◆しかし、その一方で、接着の適用拡大につれて、**不具合も増加**している。これは、日本では、これまで、**接着のばらつきや品質**に対して、あまり関心が持たれてこなかったことが一因と思われる。
- ◆このような状況を打破するために、**今、接着の信頼性向上、品質向上が多くの産業界から強く要求**されている。
- ◆こういう点で、日本はようやく「**高信頼性・高品質接着**」の黎明期に入った状態と言える。
- ◆世界的にも、**接着版ISO9001の改訂などの動き**がある。〈後述〉
- ◆また、「他の接合では得られない機能や性能を生み出すための接合法」という**積極的で高付加価値的な使い方**に変わることも必要である。
- ◆このような状況に対応するためには、以下に述べるような課題を一つ一つ解決していく必要がある。

2. 構造接着技術の現状と課題

今、「構造接着」が注目されている その背景は

◆自動車の車体軽量化における材料の変化 (マルチマテリアル化における異種材接合)

・鋼→アルミ→複合材料(CFRP、CFRTP)

◆しかし、自動車での実用化は欧州先行で進行

・2013年11月 BMWがi3を欧州で量産販売開始
CFRP製の車室をアルミシャーシーにウレタン系
接着剤とボルト4本で接合(右上図)

・日本ではCFRPは材料価格が高くて、量産車には
適用困難と思われていた。

・日本では、2010年10月か
ら2012年12月にトヨタが
高級車レクサスLFA
(3,780万円)を
500台(1台/日)生産
(車室はCFRP)。
接着も適用(右図)



出典) <http://bmw-i.jp/BMW-i3/>



出典)トヨタ自動車公開資料

HSC 3/21
HSC
Haraqa

BMW i3 に刺激されて日本でも「構造接着」が大ブレイク

◆2015年度から、新構造材料技術研究組合 (ISMA) で「構造材料用接着技術の開発」プロジェクトが開始

原賀も「構造材料用接着技術検討委員会」の委員に就任

◆その後、産総研に、「接着・界面現象研究ラボ」、「接着・接合技術コンソーシアム」が設置された

ドイツのフラウンホーファー(IFAM)形の産学官連携の研究開発を目指す

◆自動車メーカー、素材メーカー、接着材料メーカーも取組み強化

◆その後、県単位でも公的機関が主体となり、類似の多くのPjが開始

・2017年1月 産総研主催の「第二回構造接着研究シンポジウム」には
400名が参加

・2017年4月 「第一回接着・接合Expo」がビッグサイトで開催
出展社:110社、講演会聴講者:1200名

・「日経ものづくり2017年9月号」特集:今こそ本気でマルチマテリアル
アンケート結果:今後発展する関連技術は「接着剤」が54%でトップ

・2018年6月 日本接着学会年会 参加者:489名(過去最多)

◆なぜ大ブレイク? 日本には「構造接着」の技術はなかったのか?

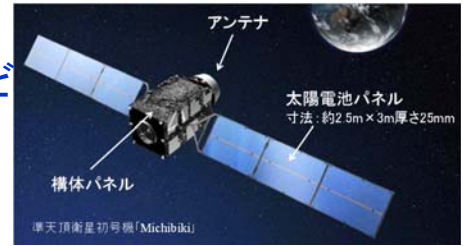
HSC 4/21
HSC
Haraqa

日本での構造接着の事例の一部

【異種材接合】

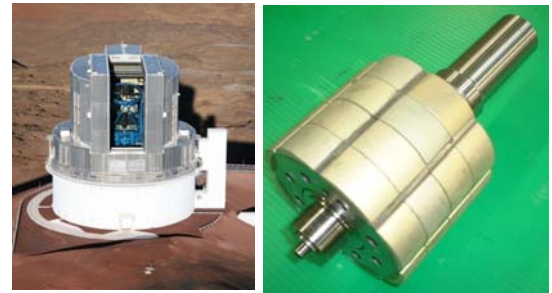
◆人工衛星の構体、太陽電池パネル、アンテナなど

- ・CFRPスキン/アルミハニカムの異種材接着のサンドイッチパネル
- ・さらに、ポリイミド絶縁フィルム/太陽電池/カバーガラスの異種材接着



◆大形赤外線望遠鏡「すばる」

ガラス(主鏡)/金属(アクチュエータスリーブ、固定点)の異種材接着



◆各種モーターの永久磁石固定

鋼 / 焼結体の異種材接着 高温強度、H/C、耐久性

【軽量・高強度・高剛性化】

◆高速列車用車両空調装置

疲労耐久性、シール、長期耐久性



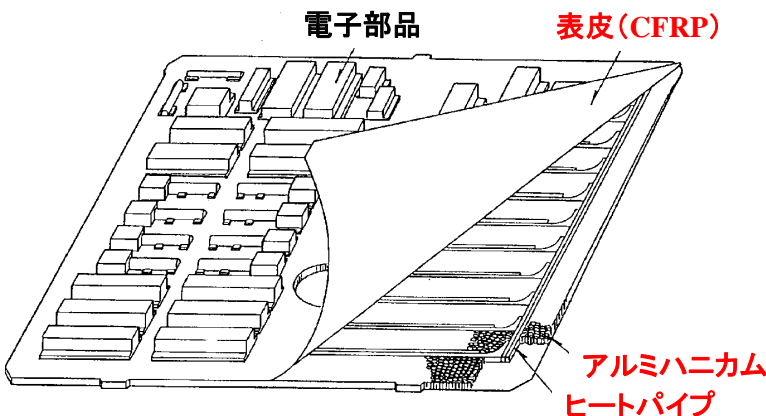
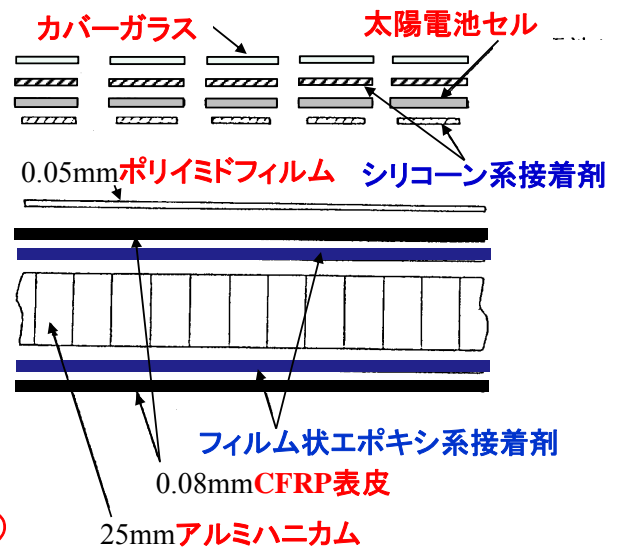
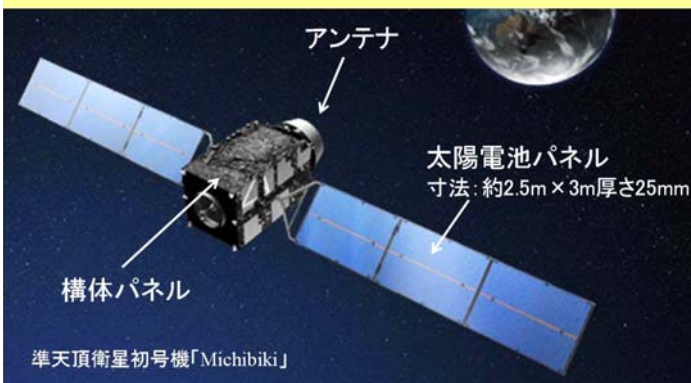
【高精度化】

◆大型電波望遠鏡の反射鏡

超高精度、高強度、高剛性、長期耐久性



人工衛星 - 軽量・高剛性、異材接合 (CFRPハニカムパネル、ソーラーセル)



【太陽電池パネルの構成】

要求条件:

- ・耐ヒートサイクル性
-150℃ ~ +200℃
- ・耐熱劣化性、低T_g
- ・耐放射線性
- ・低アウトガス(構体パネル)
- ・透明性(カバーガラス接着)

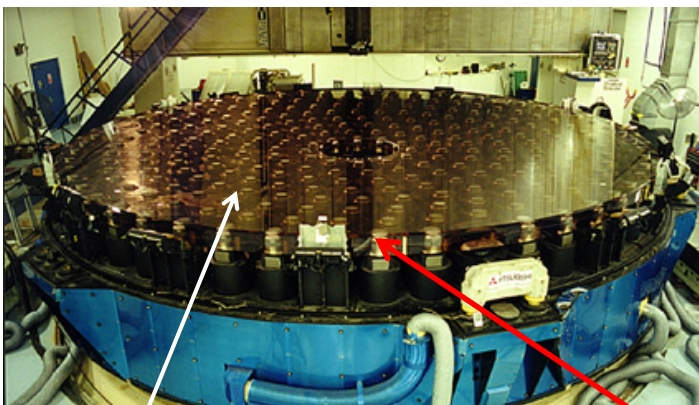
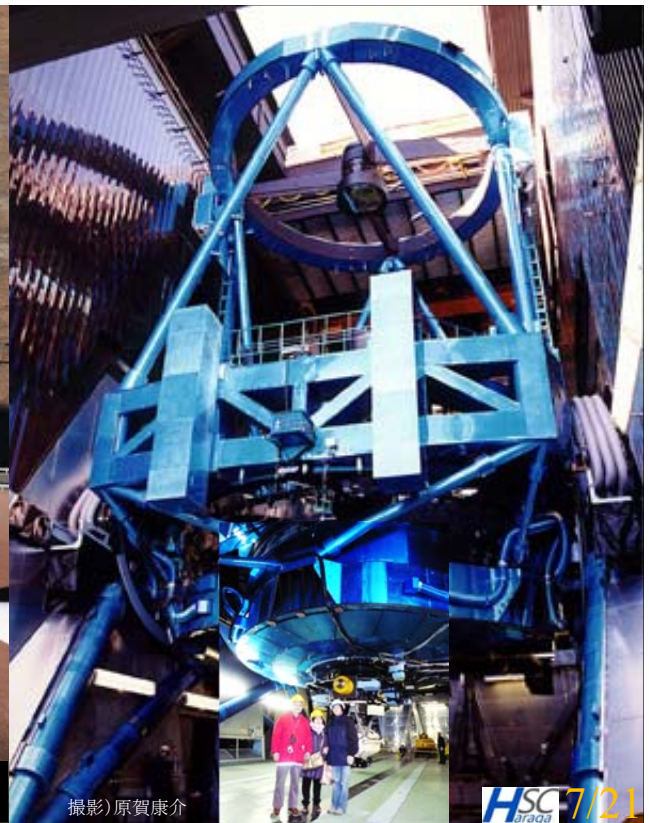
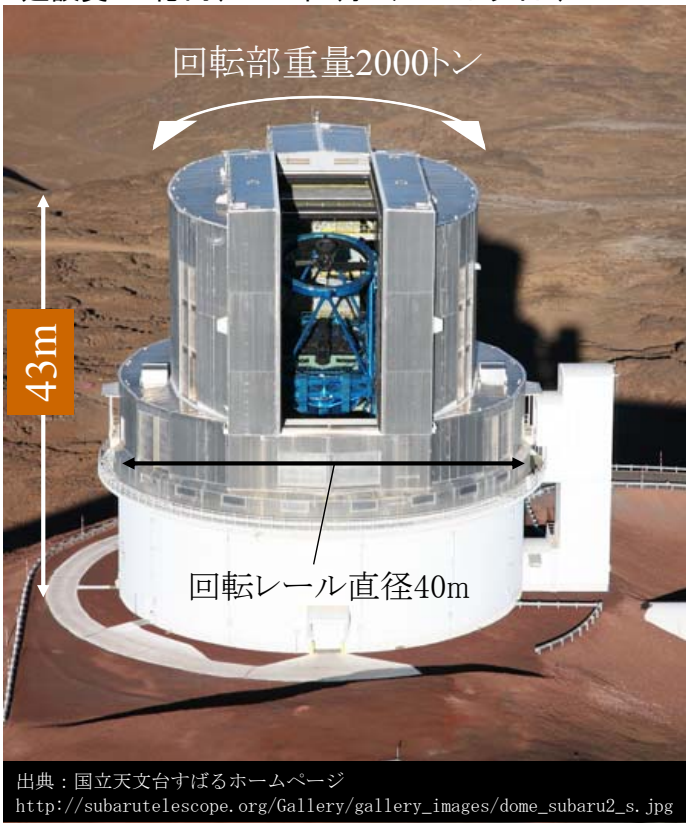
【ヒートパイプ埋込み型構体パネルの構成】

出典) 原賀康介: “宇宙用機器を支える接着技術 - 性能への挑戦 -”, 接着管理士会報(日本接着剤工業会) No.41, P.1~10.(2015)

大形赤外線望遠鏡の主鏡「すばる」ー ガラス/金属の異種材接合 ー

ハワイ島マウナケア山頂(4200m)にある日本の国立天文台の「すばる」主鏡は直径8.2mの1枚物ガラス製(厚さはわずか20cm、重量:22.8トン)建設費400億円、1999年1月ファーストライト、

出典)原賀康介著:「高信頼性接着の実務ー事例と信頼性の考え方ー」(日刊工業新聞社刊), P.55-57(2013).



主鏡(ミラー)φ8.2m, 厚さ20cm, 22.8ton



固定点(支持点)(3カ所)

- ◆ 薄くて重いガラス鏡は観測方向によって形状が変化する。
- ◆ 形状は、裏面に設置された261本のアクチュエーターで制御される。
- ◆ ガラスに掘り込まれた261個の穴に特殊金属のアクチュエーターキャップ(スリーブ)が接着されている。

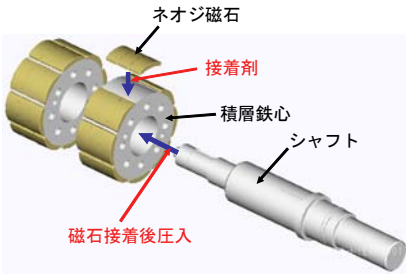
アクチュエーター(261カ所)

- ◆ 22.8トンの鏡全体は、3カ所の特殊金属製の固定点(支持点)で支えられている。
- ◆ ガラスと金属は接着剤で固定されている。
- ◆ 接着剤: 柔軟性二液エポキシ

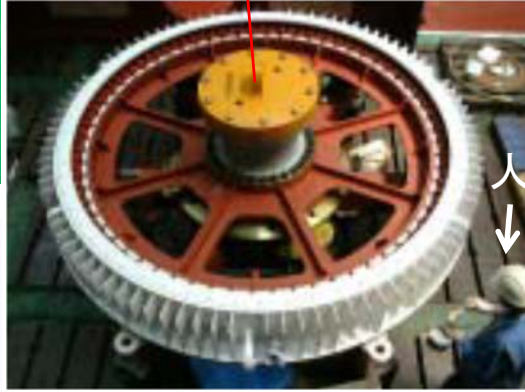
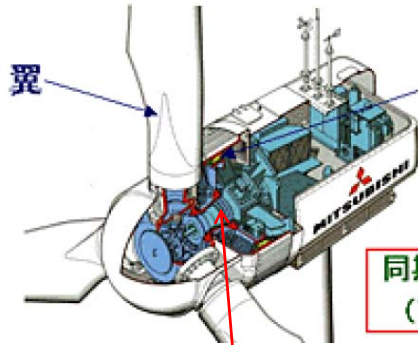
出典)原賀康介著:「高信頼性接着の実務ー事例と信頼性の考え方ー」(日刊工業新聞社刊), P.55-57(2013).

各種モーターの磁石固定 — 鋼/Nd焼結体の異種材接合、高強度接合 —

FA用サーボモーター

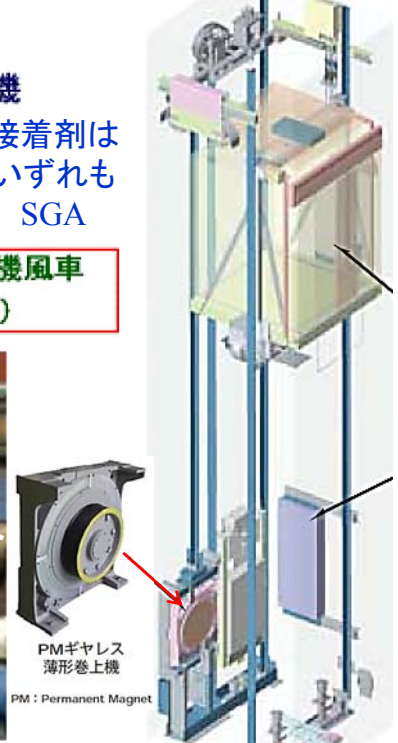


風力発電機
(永久磁石式同期発電機)



2MW機: ローター直径: 4.5m

機械室レスエレベータ
薄型巻上機



接着剤は
いずれも
SGA

出典)原賀康介著:「高信頼性接着の実務—事例と信頼性の考え方—」(日刊工業新聞社刊), P.46-54 (2013).

高速列車用車両空調装置 — 軽量、高強度・高剛性化、シール —



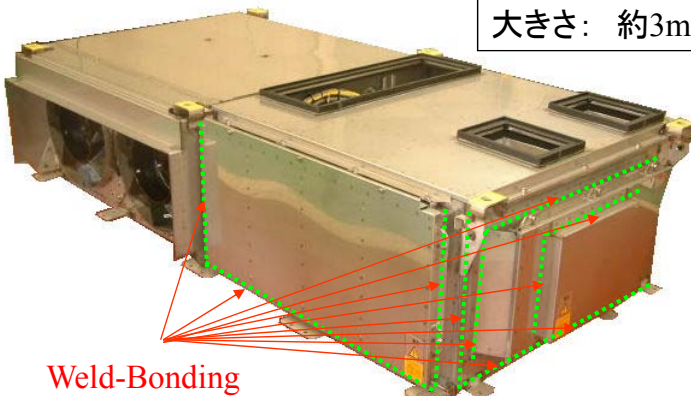
◆高速列車用機器では軽
量、高剛性、シール性、
耐久性が必要。

◆スポット溶接の目的
・固定治具の代用、
・部品間の隙間をなくす

◆接着剤: 二液室温硬化
型アクリル系(SGA)

床下吊下げ型の空調装置の枠体は、**薄いステン
レス板を接着剤と点溶接の併用(Weld-Bonding)**によ
り組立を行っている。

大きさ: 約3m×2m×1m(オールステンレス製)

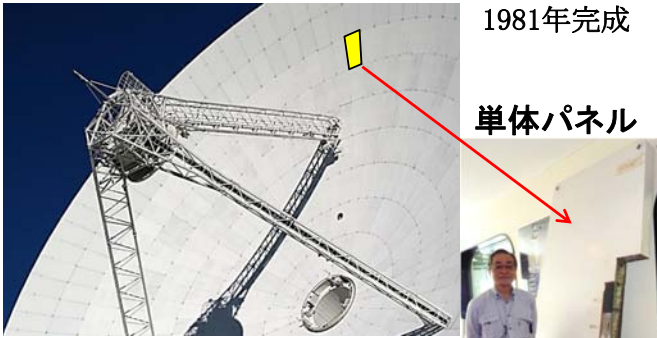


【車両空調装置の枠体】

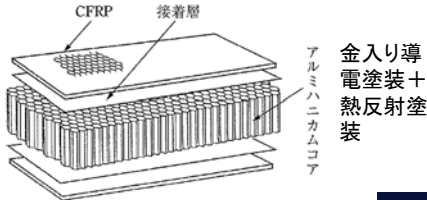
出典)原賀康介著:「高信頼性接着の実務—事例と信頼性の考え方—」(日刊工業新聞社刊), P.32-33 (2013).

大形宇宙電波望遠鏡の反射鏡 —超高精度、隙間充填、異種材接合—

野辺山宇宙電波観測所45mφミリ波電波望遠鏡
1981年完成



単体パネル



- ・反射鏡の**直径45m**
- ・反射鏡は**600枚のパネル**で構成(約2.5m×1.5m/枚、100mm厚)
- ・宇宙のミリ波を観測
鏡面精度:全体**0.1mm以下**
単体パネル:**0.05mm以下**
- ・春夏秋冬、昼夜の**温度差(-30℃~+60℃)**による変形不可
- ・そのため、**線膨張係数0のCFRP/アルミハニカムパネル**で製作

出典)原賀康介著:「高信頼性接着の実務—事例と信頼性の考え方—」(日刊工業新聞社刊), P.21-23,40-42(2013).



HSC Araga

2001年完成

水沢
小笠原
鹿児島
石垣島

撮影)原賀康介

- ◆宇宙の立体地図作成用電波望遠鏡VERA(日本に4台)
- ◆反射鏡:直径**20m**、**120枚**のパネルで構成
- ◆分解能:月の上の**1円玉**が識別できる精度を有する
- ◆鏡面精度:全体**0.25mm以下**、単体パネル**0.15mm以下**
- ◆**非塑性変形最大風速90m/sec(334km/hr)**
- ◆単体パネルの構造:アルミ反射板の裏にアルミ製ストレッチ(補強材)が**接着(SGA)**だけで固定されている



なぜ今、大ブレイクなのか？

—日本における構造接着技術の現状—

- ◆日本でも、高いレベルの構造接着技術で多くの実績を有する企業は有るが、**膨大なデータやノウハウは門外不出**となっており、他企業の製品に**水平展開するのは困難**な状態である。
- ◆このため、汎用的に使える技術としての「**構造接着**」は、欧米と比べると**遅れている**。

【そのわけは】

- ◆**構造接着技術の牽引役である「航空機産業」が戦後途絶えたため**。
「造船産業」は日本の牽引役であったため、鉄鋼や溶接の技術は世界一となった
- ◆牽引産業が無い**ため、学官での教育・研究や接着剤産業も手薄**となった。

【その結果】

- ◆**人材も技術も育たず、大企業でも接着の技術者が皆無か稀少**なところがほとんど。
- ◆この状況下で、自動車のマルチマテリアル化が「**黒船**」のごとく襲来し、**構造接着が重要**となったため、**技術のキャッチアップに躍起**になっている。
- ◆また、自動車産業は規模が大きい**ため、産はもちろん、官学もこぞって構造接着の研究・開発に参画**してきた。

技術レベルの二極化

「構造接着」における課題と取組み

- ◆異種材接着における熱応力による変形、破壊の防止
 - ・接着剤の物性最適化(硬さと伸び: 接着剤の強靱化)
 - ・内部応力の低減法の開発(構造面からの検討、物性傾斜塗布、他)
- ◆接着の耐久性評価、向上
 - ・加速評価、寿命評価法の開発
 - ・接着剤の性能向上
- ◆難接着材料の接着性向上
 - ・表面改質法(大気圧プラズマ処理などドライ処理)の開発
 - ・表面改質不要な接着剤の開発
- ◆非破壊検査法の開発
 - ・大物のインライン検査、表面に痕跡が残らない検査法
 - ・Weak Bond の検出法
- ◆インプロセス検査
 - ・接着面の表面状態の検査法開発
- ◆組立時間の短縮法の開発
 - ・生産方式(メインラインでの接着か、サブラインでの接着か)、組立構造の検討
 - ・接着剤の開発(新しい硬化機構) ・硬化システム
- ◆複合接着接合法の活用法の開発
 - ・接着剤の欠点補完、破断に対する冗長性の確保

HSC13/21

【取組みの一例】 物性連続傾斜接着技術の開発

一つの接着部の中で接着剤の弾性率や伸び率を変化させる

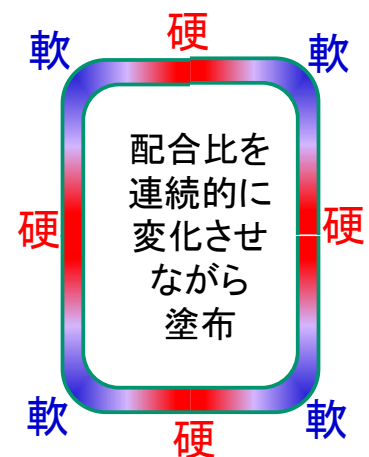
- ◆線膨張係数が異なる異種材料の接着や脆性材料の接着では、
 - ・温度変化で生じる熱応力による変形
 - ・部品の破壊
 - ・接着部の破壊などが重要な問題である。

- ◆硬い接着剤では、接着強度は高いが、熱応力は大きくなる。
柔らかい接着剤では、熱応力は小さいが、接着強度は低い。

- ◆大きな熱応力が加わる部分には柔らかい接着剤を、熱応力が小さな部分には硬い接着剤を配置すれば、高強度で変形や破壊が少ない接着が可能となる。

- ◆異組成のSGA(二液室温硬化アクリル系接着剤)を用いて、配合比を連続的に変化させれば、接着剤の物性を連続的に変化させることは可能である。

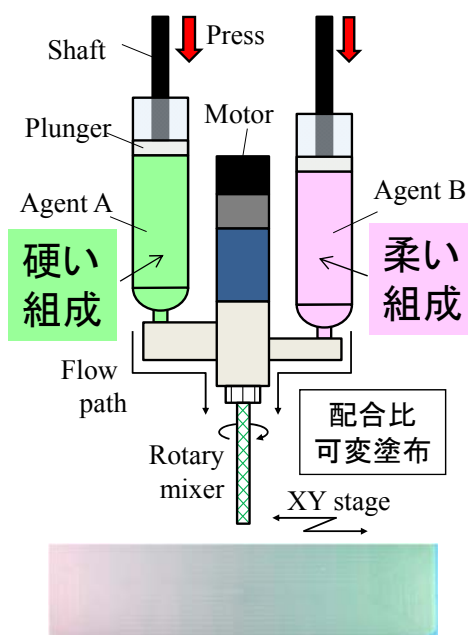
物性連続傾斜塗布の一例



HSC14/21

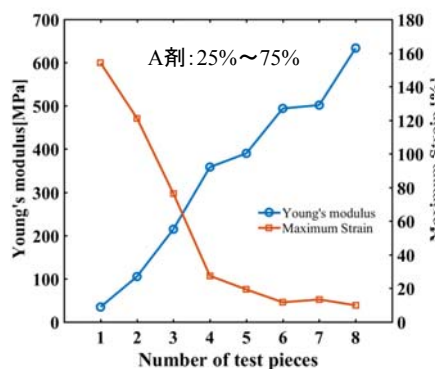
異組成SGAによる物性傾斜塗布の検討結果

- ◆ 硬い組成と柔い組成の二液を組合せ、試作した配合比連続可変塗布装置で実験。
- ◆ 混合は、回転式スタティックミキサーを採用した。

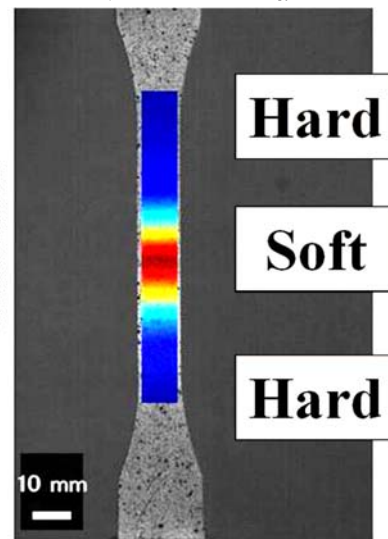


配合比連続傾斜塗布装置の概要とサンプル

- ◆ この塗布装置で、左図のように配合比連続変化サンプルを得た。
- ◆ ヤング率、伸び率も連続的に変化を確認(中図)
- ◆ デジタル画像相関法(DIC)でも、歪みが連続的に変化することを確認した。



ヤング率と伸び率の関係



DICによる伸びの変化

Minori Nakanouchi, Chiaki Sato, Kosuke Haraga and Hiroki Uno ; "Functionally graded joints with two-parts acrylic adhesive", EURADHESION2018, Poster 29, (5-7 Sep. 2018, Lisbon, Portugal)).

HSC15/21

3. 注目されていないが重要な接着分野—精密接着—

【精密接着の現状】

- ◆ 長年にわたって多くの産業分野で実施されている。
- ◆ しかし、対象の部品や機器が千差万別で、接着剤は多品種極少使用で、輸入品も多く、手作業個産から自動化量産まで生産方式もさまざま、接着特性の評価はきわめて困難であるため、部品や機器の開発時点では試行錯誤的、トラブル対策は対症療法的に行われているのが実情である。
- ◆ 精密接着を研究している大学・研究機関はほとんどなく、技術者も少ない。

【喫緊の課題】

- ◆ IoT化、知能化、ロボット化、安全・安心・健康対応が急拡大し、これらを支えるセンサー類、各種素子、制御系、その他広範囲な部品や機器への要求が急速に高まり、高性能化とともに開発期間の短縮、製品の信頼性・品質の確保と向上が急務となっている。
- ◆ そこで、精密接着における課題を抽出・分類・整理して、CAEを活用して技術として体系化し、設計指針を示すことが求められている。

【取組み】

- ◆ 2018年度から、日本接着学会構造接着研究会に「精密接着WG」を設置し、実験的評価が困難な精密接着の諸現象を、CAE解析技術を用いて、各種因子の影響度評価と最適化を行うなどの取組みが始まっている。16/21

精密接着における課題

- ◆微小位置ずれ、微小変形、微小はく離 …… nmレベル。実験が困難
← シミュレーションによる内部応力の影響因子と影響度の評価が重要
- ◆強度評価 …… 実験が困難
 - ①微小部品の接着強度の評価法
 - ②部品が壊れやすくて接着強度が測定できない物の接着特性の評価法
 - ③部品の材質や表面状態が特殊で、サンプル作製、特性評価が困難なもの
の評価法 ← シミュレーションによる影響因子と影響度の評価が重要
- ◆接着剤の物性評価
 - ①薄層接着状態でしか硬化しない材料の物性評価
 - ②CAE解析に必要な物性の評価、データベース化
 - ③超微量、薄膜での硬化特性・物性は、一般バルクと同じか？
- ◆耐久性
 - ①応力緩和、クリープや吸湿、熱サイクル、外力による接着特性の変化と
部品の機能・特性の経時変化との関係評価 ← シミュレーションの活用
 - ②劣化後の破壊部の評価法

HSC17/21

4. 設計指針とデータベースの必要性

◆接着を汎用技術として使うために、
接着のユーザー企業が、今、本当に欲しいものは、
設計指針 と データベース

- ◆構造設計者の悩み
接着された部品の機能に、接着部のどのような因子が、どのように、どの程度影響するかが不明確で、最適な設計ができない。
(例: 接着層の厚さ、接着剤の弾性率、硬化収縮率、線膨張係数、…)
← これまでに蓄積されてきた多くの経験的知見やノウハウを体系化した設計指針が欲しい。
- ◆接着剤選定の困難さ
選定には、機能・特性、耐久性・信頼性、構造、作業性、品質管理などの多面的な検討が必要で、「多大なる評価試験」と「経験」が必要。
← 接着剤のデータベースがあれば選定は容易になる。
↓ 設計指針とデータベースがあれば、
- ◆CAEを用いて、構造・接着剤の必要物性の最適化ができる。

◆これで接着を採用できるか？

HSC18/21

5. 接着部の劣化のセンシングとモニタリング

- ◆接着で機器の要求性能が満足できることが確認されても、接着の採用に踏み切れないことが多い。
それは、**接着部の長期耐久性に不安**があるから。
- ◆不安を解消するために、
各種の耐久性試験からの**寿命予測**を行う。これは**可能**。
それでも採用を躊躇する。
それは、寿命予測結果の**妥当性検証が困難**なため。
- ◆寿命予測結果の妥当性の検証はどうすればできるか？
予測結果と**実機での長期実績との対比**で検証する。
接着を長年適用してきた企業では、検証ができていますが、**企業秘密**。
- ◆では、そのノウハウがない場合は、どうすれば良いか？
使用中の接着部の状態を**センシング、モニタリング**できれば良い。
 - ・接着部に劣化が生じると、接着体の特性にも何らかの変化が生じる。
 - ・劣化の程度と特性の変化の関係を掴み、特性をセンシング、モニタリングする技術が開発されれば、不良に至る前に補修や交換が可能となる。
- ◆どうすればセンシング、モニタリングできるか？ **今後の課題**。

HSC19/21

6. 資格認定制度と接着技術者の育成

- ◆接着接合は、**特殊工程の技術**であり、**高信頼性・高品質な接着**を達成するためには、設計段階、製造段階での**品質の作り込み**が最重要である。
- ◆接着の信頼性・品質の向上と維持は、**世界的にも要求**されている。
 - ・ドイツでは、鉄道車両に用いる接着を対象として、**DIN6701-2**で、技術者や作業者の**資格認定制度** (EAE, EAS, EAB) が義務付けられている。
 - ・鉄道車両以外の機器に対しては、**DIN2304**が制定されている。
 - ・ISOでは、**ISO9001の接着版**とも言える**ISO21368の改訂**が目前に迫っている。改訂の骨子は、DIN6701-2規定の**資格認定制度の導入**である。
このため、日本でも、**国際的に相互認証可能な資格認定制度の早期制定と、資格認定者の増強が急務**となっている。
- ◆しかし、先にも述べたように、日本では、高信頼性・高品質な接着の作り込みができる**技術者は少ない**状況にあり、**技術者の育成が必要**である。
- ◆このような状況に対処するために、接着設計と接着管理に必要な要素技術を体系的に保有し、全体をコーディネートできる接着適用技術者を育成することを目的に、日本接着学会構造接着研究会では、3年前から「**接着適用技術者養成講座**」(4日間)を開講している。

HSC20/21

7. おわりに

高信頼性・高品質接着を汎用技術とするために

- ◆接着は、化学・物理・機械など多くの技術の**境界領域の技術**である。しかし、**全ての技術に精通**しなければ高信頼性・高品質な接着を達成できないのであれば、接着は**特異工法**の域を超えることは困難である。
- ◆接着が、汎用技術として認められるためには、**基本的な知識**を有し、**設計指針、作業指針**に沿って設計・施工すれば、**他はブラックボックスでも高信頼性・高品質接着ができる状態**にならなければならない。
 - 接着剤 ➡ 接着材 充実した技術データで選定・購入・適用ができる
組成・反応の詳細はブラックボックスで良い
 - 表面処理・改質 材料別のパターン化、設備のモジュール化
 - 基礎研究中心 ➡ **実用化研究**の強化
- ◆このためには、接着を用いる企業が「**業界内で連携**」し、**目的を明確**にして、**他業種企業および学官と連携**して、**実用化研究を強化**し、「**関連業界全体で設計指針、作業指針を作成して情報を共有化する**」取組みが必要であろう。

クローズドな研究開発 ➡ オープンイノベーション的研究開発

HSC21/21
Haraga

参考書籍のご紹介 NKガイドライン作成の参考資料にもなっています



著者 : 原賀康介
出版社 : 日刊工業新聞社
価格 : 2592円(消費税込)
発刊日 : 2013年1月29日



著者 : 原賀康介
出版社 : 日刊工業新聞社
価格 : 2808円(消費税込)
発刊日 : 2013年11月26日

内容詳細は、弊社ホームページ<http://www.haraga-secchaku.info/>に掲載してあります

参考書籍のご紹介



著者 : 原賀康介
出版社 : 日刊工業新聞社
価格 : 1944円(消費税込)
発刊日 : 2018年3月30日

- 第1章 これだけは知っておきたい接着の基礎知識
第2章 準備と段取りの要点
第3章 実務作業・加工のポイント

内容詳細は、弊社ホームページ
<http://www.haraga-secchaku.info/>
に掲載してあります

本書は、入門と言いながら、異種材接着や構造接着、精密接着での重要課題である「内部応力」に関する詳細な記述や、これまでほとんど開示されて来なかった接着の評価に必要な規準や指針を、著者の経験に基づいてできるだけ多く記載し、接着のベテラン技術者

参考書籍のご紹介 NKガイドライン作成の参考資料にもなっています



著者 : 原賀康介, 佐藤千明
出版社 : 日刊工業新聞社
価格 : 2700円(消費税込)
発刊日 : 2015年2月20日

目次

- 第1章 接着接合による車体軽量化への期待
第2章 接合法の種類
第3章 接着剤による接合・組立技術
第4章 自動車の材料多様化に対応する接着技術の課題
第5章 信頼性の高い接着接合を行うためのポイント
第6章 機能、生産性、コストを並立させる接着剤

内容詳細は、弊社ホームページ
<http://www.haraga-secchaku.info/>
に掲載してあります