

## ものづくりにおける接着接合の応用 —日本の現状、課題と今後の取組み—

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

1. 今、構造接着が注目されている
  2. 日本での異種材接合、軽量化における構造接着の事例
  3. 日本における構造接着技術の現状と課題
  4. 注目されていない重要な接着分野—精密接着—
  5. 技術の体系化のための接着設計技術と接着管理技術
  6. まとめ
- 参考書籍紹介



1/21

## 1. 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)  
・鋼→アルミ→複合材料(CFRP、CFRTP)
- ◆自動車車体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 2/21

## BMW i3で日本でも構造接着が大ブレイク

- ◆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  
ドイツのブラウンフォーファー(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  
Dow、Henkelなど海外の大手化学メーカーが国内自動車向けに攻勢  
国内接着剤メーカーも独自開発を強化(小規模で海外勢に勝てるか?)  
国内大手化学メーカーも接着剤に参入
  - ・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「第二回構造接着研究シンポジウム」(産総研主催)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 9/20-22大阪開催(基調講演:原賀)
- ◆今後の展開は、これらの成果に期待したい。
- ◆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 3/21

## 2. 日本での異種材接合、軽量化における構造接着の事例

【異種材接合】

- ◆人工衛星の構体、太陽電池パドル、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」  
主鏡(ガラス)/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

【軽量化】

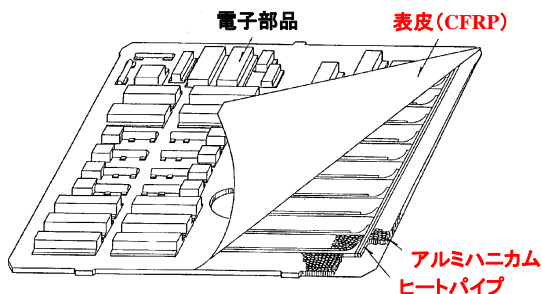
- ◆高速列車用車両空調装置  
軽量、高強度・高剛性化、シール

【高精度化】

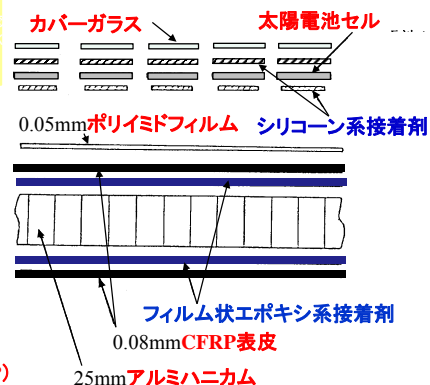
- ◆大型電波望遠鏡の反射鏡

HSC 4/21

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)



【ヒートパイプ埋込み型構体パネルの構成】



【太陽電池パネルの構成】

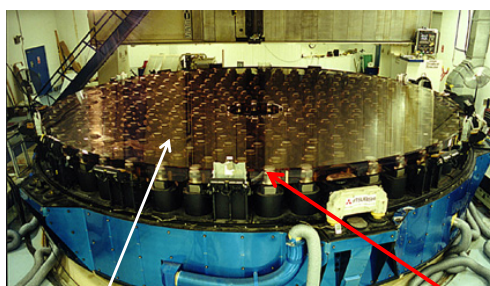
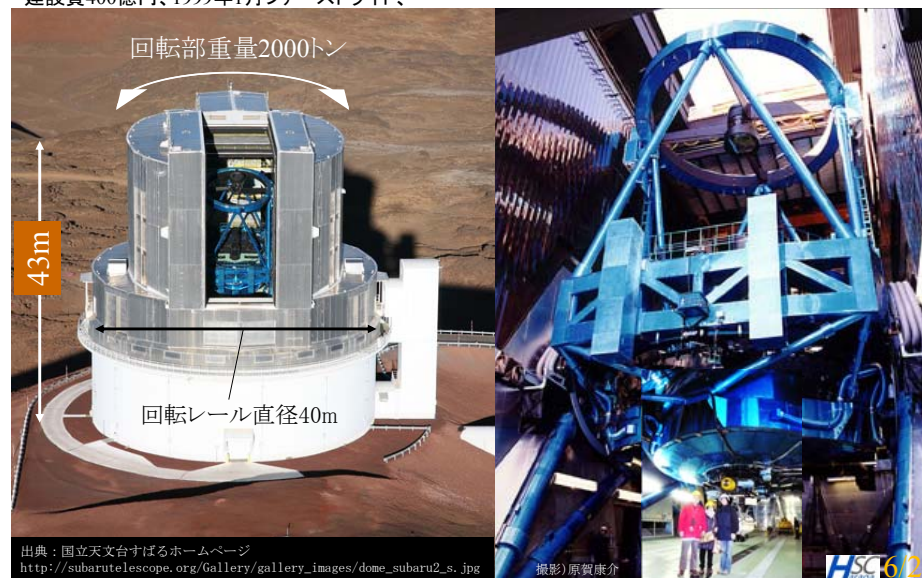
- 要求条件:
- 耐ヒートサイクル性  
-150℃ ~ +200℃
  - 耐熱劣化性、低Tg
  - 耐放射線性
  - 低アウトガス (構体パネル)
  - 透明性 (カバーガラス接着)

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」 — ガラス/金属の異種材接合 —

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—事例と信頼性の考え方—」 (日刊工業新聞社刊), P.55-57 (2013).



- ◆ 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

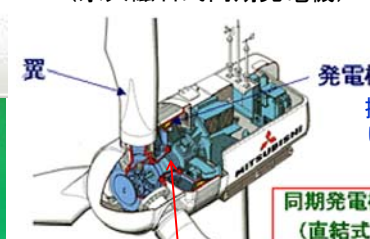
出典) 原賀康介著: 「高信頼性接着の実務—事例と信頼性の考え方—」 (日刊工業新聞社刊), P.55-57 (2013).

各種モーターの磁石固定—鋼/Nd焼結体の異種材接合、高温・高強度接合—

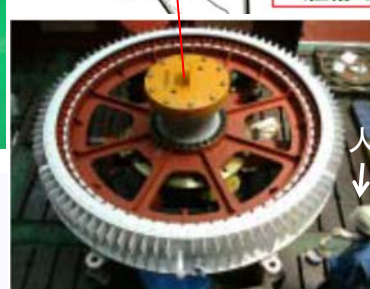
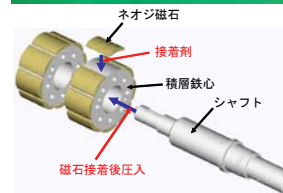
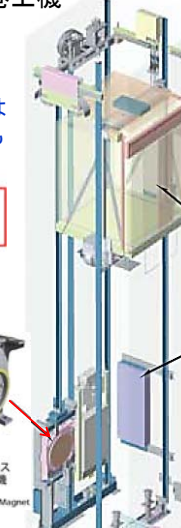
FA用サーボモーター



風力発電機 (永久磁石式同期発電機)



機械室レスエレベーター 薄型巻上機

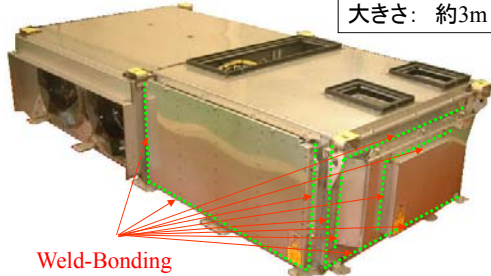


出典) 原賀康介著: 「高信頼性接着の実務—事例と信頼性の考え方—」 (日刊工業新聞社刊), P.46-54 (2013).

## 高速列車用車両空調装置 — 軽量、高強度・高剛性化、シール —



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。



Weld-Bonding

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).

HSC 9/21

◆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

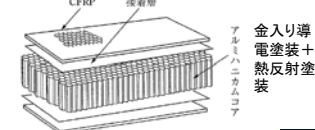
◆接着剤: 二液室温硬化型アクリル系(SGA)

## 大形宇宙電波望遠鏡の反射鏡 — 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

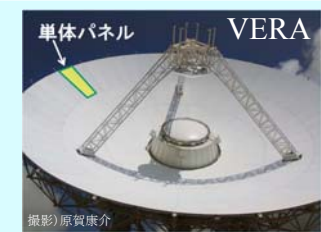


単体パネル



- ・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/アルミニウムパネルで製作

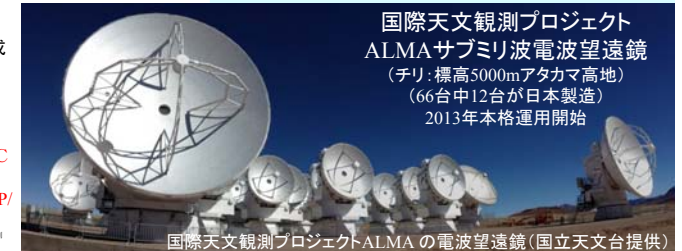
出典原賀康介著:「高信頼性接着の実務—事例と信頼性の考え方—」(日刊工業新聞社刊), P.21-23, 40-42(2013).



2001年完成

水沢  
小笠原  
鹿見島  
石垣島

- ◆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



国際天文観測プロジェクト  
ALMAサブミリ波電波望遠鏡  
(チリ: 標高5000mアタカマ高地)  
(66台中12台が日本製造)  
2013年本格運用開始

国際天文観測プロジェクトALMAの電波望遠鏡(国立天文台提供)

## 3. 日本における構造接着技術の現状と課題

- ◆欧米と比べると、日本全体における**技術としての「構造接着」は遅れている。**
- ◆日本でも高いレベルの「構造接着技術」を有している企業は有り、高品質な構造接着は多くの実績を有するが、**企業の膨大な技術開発と検証試験**によって達成されたものである。社内では、**技術としてのプラットフォーム化まで達している。**
- ◆しかし、**膨大なデータやノウハウは門外不出となっており、他企業の広範囲の部品・機器組立に汎用技術として水平展開するのは現状では困難。**
- ◆自動車のような大質量製品での実績は少ない。

【そのわけは】日本の特殊事情

- ◆理由は、**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。  
「自動車」は、優れた鋼板と溶接技術に支えられて発展してきた。  
自動車では、接着は脇役に留まった(接着剤は副資材的扱い)
- ◆牽引産業が無ければ、大学等での教育・研究や接着剤産業も手薄となり、**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。**

【その結果】

- ◆近年、自動車のマルチマテリアル化で、接着が脚光を浴びましたが、**欧州の先行事例に目を奪われて、日本独自の革新的な軽量化技術・構造はまだ見えない。**  
・i3でウレタンを適用→日本でもウレタン、でも、多湿の日本では発泡の問題あり  
・既存の生産工程にこだわり、革新的構造、製造工程に消極的。

HSC 11/21

## 構造接着にも課題は多々ある

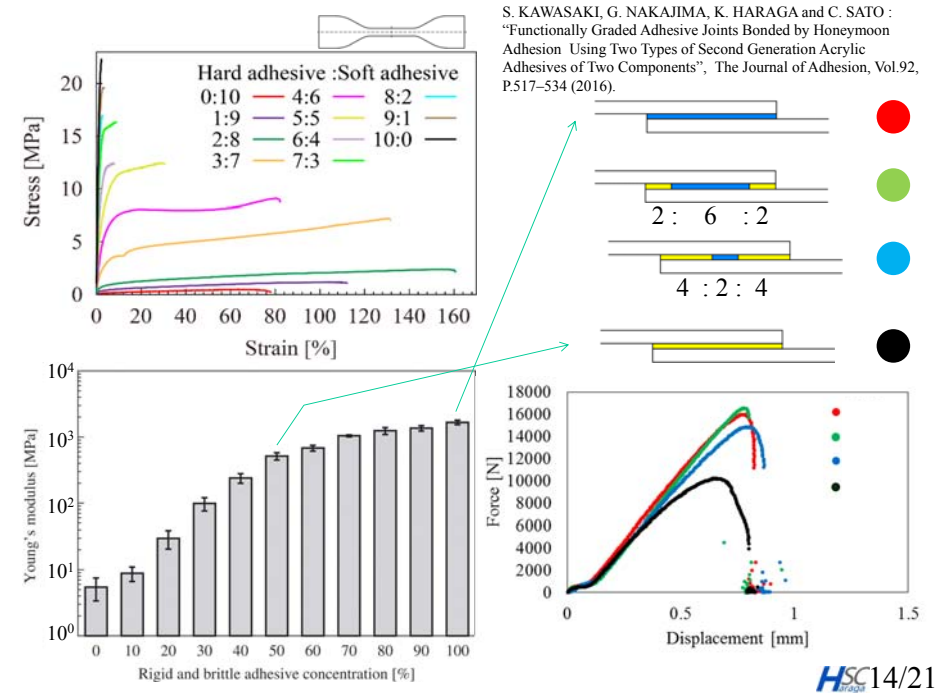
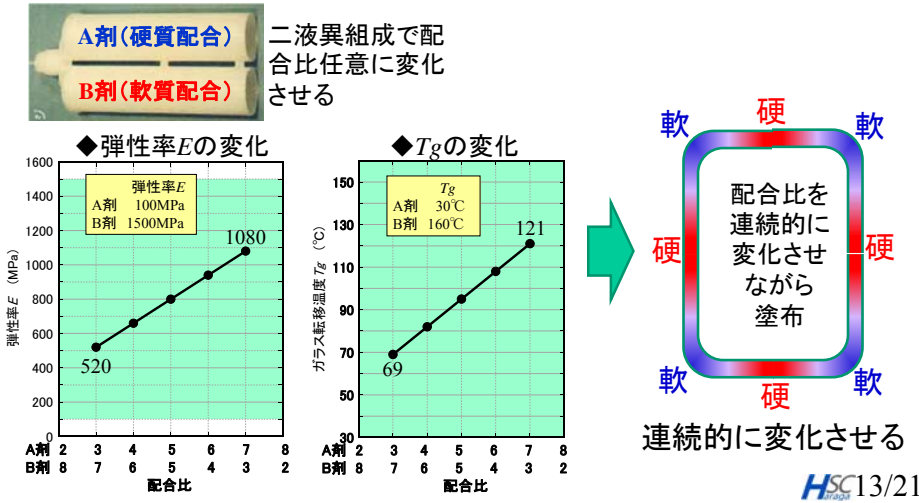
- ◆異種材接着における熱応力による破壊、変形
  - ・接着後塗装か(塗料焼付段階で接着剤硬化)、塗装後接着か(室温で硬化)
  - ・接着剤の物性最適化(硬さと伸び: 接着剤の強靱化)
  - ・内部応力の低減法(接着層厚さ、物性傾斜塗布、他)
- ◆接着の耐久性
  - ・加速評価、寿命評価法の開発
  - ・接着剤の性能向上
- ◆表面改質法
  - ・ポリオレフィンなど難接着材料の表面改質 / 表面改質不要な接着剤の開発
  - ・大型部品の大気圧プラズマ処理
- ◆非破壊検査法
  - ・大物のインライン検査、表面に痕跡が残らない検査法
  - ・Weak Bondの検出
- ◆インプロセス検査
  - ・接着面の表面状態の検査
- ◆短時間硬化(自動車などの短タクトタイム製品)
  - ・メインラインでの接着か、サブラインでの接着か
  - ・接着剤の改良、新しい硬化機構の導入
- ◆複合接着接合法の活用
  - ・接着剤の欠点補完、破断に対する冗長性の確保

HSC 12/21

## 【研究例】異種材接着における高強度と熱変形回避の両立

### SGA(二液室温硬化型アクリル系接着剤)による傾斜物性付与

- ◆接着剤が柔らかければ反りは少くなるが、接着強度は低下する。
- ◆接着剤の硬さを連続的に任意に変化できれば、高強度と低反りを両立できる。
- ◆配合比許容範囲が広いSGAを用いれば、配合比変化で傾斜物性付与が可能。



## 4. 注目されていない重要な接着分野—精密接着—

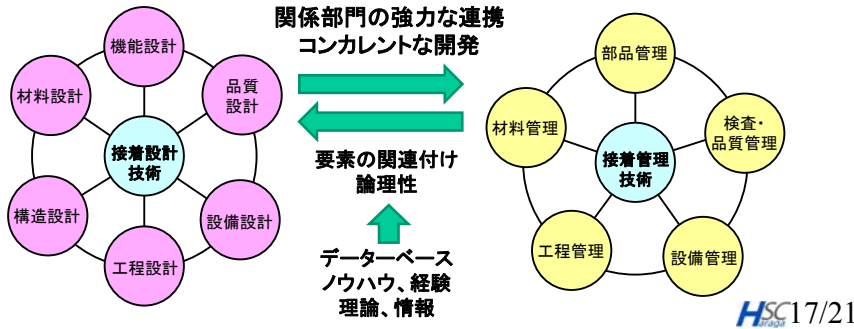
- ◆IoT化、知能化、ロボット化、安全・安心・健康対応が急拡大し、これらを支えるセンサー類、各種素子、制御系、アクチュエーター・モーター、その他広範囲な部品や機器への要求が急速に高まり、高性能化とともに製品の信頼性・品質の確保とさらなる向上が急務となっている。
  - ◆接着剤による精密部品・精密機器の組立は、長年にわたって接着の主要な用途の一つとして多くの産業分野で実施されてきている。
  - ◆しかし、精密部品や微小部品の接着は、対象の部品や機器が千差万別であり、接着剤は多品種極少使用で輸入品も多く、手作業個産から自動化量産まで生産方式もさまざま、接着特性の評価がきわめて困難であるため、部品や機器の開発時点では Cut and Try、トラブル対策は対症療法的に行わざるを得ないのが実情である。
  - ◆精密接着を技術として研究している研究機関はほとんどない。技術者も育っていない。
  - ◆今後の精密部品・機器の高性能化、高信頼性・高品質の確保と維持の要求に対応するためには、精密・微小部品接着における課題を抽出・分類・整理して、技術として体系化し、一つの技術分野として確立していくことが必要である。
- HSC15/21

## 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  
内部応力(硬化収縮応力、加熱硬化過程やプロセス内、使用中の温度変化による熱応力、など)の影響
  - ◆強度評価関係
    - ①微小部品の接着強度評価法
    - ②部品が壊れやすく接着強度が測定できない物の接着特性評価法  
静的強度試験では部品が先に壊れるが、クリープ力では接着部が破壊するようなもの  
(例:コーティング膜面での接着では、静的強度試験ではコーティング膜が先に剥がれてしまうが、接着部にクリープ力がかわると膜は剥がれずに接着部で壊れるようなもの)
    - ③被着材料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(嫌気性接着剤、瞬間接着剤など)
    - ②物性値等のデータが揃っていない  
接着剤は特殊機能品が多く、多品種・少量使用で輸入品も多いため、kg単価はきわめて高いが、使用量が少ないため、メーカーの協力はほとんど得られない。
    - ③超微量(1/1000ml以下)、薄膜(1μm以下)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、外力による部品の機能・特性の経時変化  
接着特性の変化との関係評価。シミュレーションの活用
    - ②劣化後の破壊部の評価法  
探傷液、X線CT、その他
- HSC16/21

## 5. 技術の体系化のための接着設計技術と接着管理技術

- ◆接着特性・耐久性に優れ、ばらつき・不良率が小さく、さらに、生産性にも優れた『高信頼性・高品質接着』は、**接着設計技術と接着管理技術が車の両輪として連携**することによって達成される。
- ◆接着設計技術、接着管理技術として体系化するためには、各構成要素の**影響因子と影響度を定量化し、構成要素間の相互作用を明確化**することが必要。同時に、**接着設計・管理技術者の育成が重要**。
- ◆この際、接着は最終工程の検査で、良否判定ができない「**特殊工程**」の技術であり、**接着の良し悪し(作りやすさ、品質、コスト)は設計にかかっている**ことを念頭に置いて取り組む必要がある。



HSC17/21

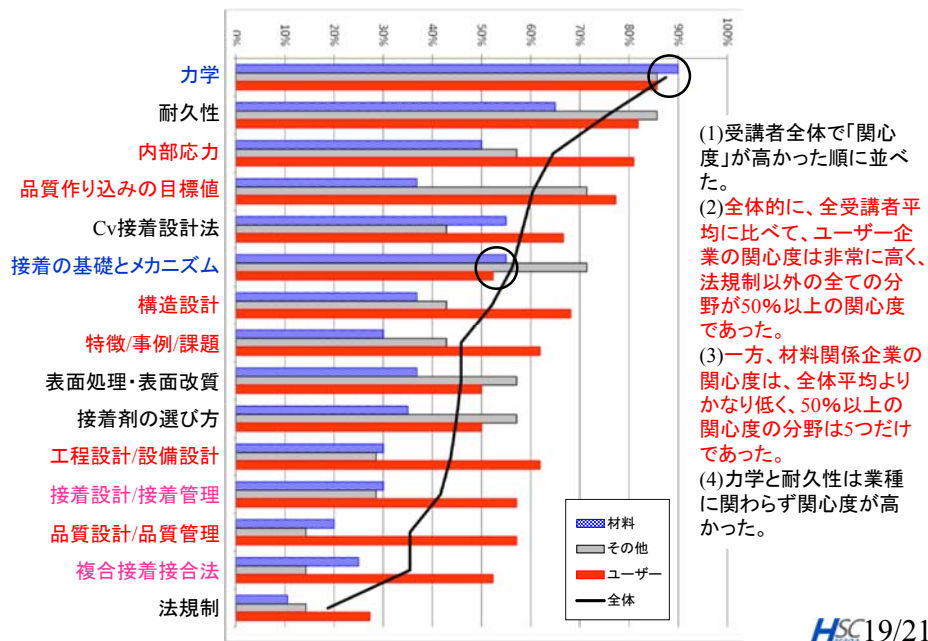
## 接着適用技術者(接着設計・管理技術者)の育成

- ◆日本における接着の研究開発は、**化学系の技術者や企業が主体**。日本接着学会の会員も化学屋がほとんど。セミナー講師も化学屋がほとんど。「接着設計技術」の研究を行っている大学は稀少。
- ◆**ニーズ(組立側)とシーズ(材料側)のマッチングが重要**  
現状は、部品・機器組立企業の設計者に接着の分かる技術者は少なく、接着剤メーカーは規模が小さく下流の製品への提案までできない。**言葉も通じないことがある。このギャップを埋めることが重要**。  
(欧州では接着剤は大企業の製品群の一部で提案形の展開。ユーザー企業には接着設計技術者も多い。)
- ◆**欧州では、EWF(欧州溶接連盟)が接着技術者認定制度**を設けて、EAE, EAS, EABの教育カリキュラムを実施している。IFAMなどが教育を実施。  
EAE:8週間、EAS:3週間(日本開催:105万円)、EAB:1週間(35万円)
- ◆**DIN-6701-2(鉄道車両の接着品質管理)**(2018年EN化)で資格取得を義務付け。鉄道車両以外の製品では**DIN-2304**が制定され、同様の資格が必要。
- ◆そこで、遅ればせながら、日本では、2016年度から「**接着適用技術者養成講座(4日間)**」(主催:日本接着学会構造接着研究会、講座長:原賀)を開始。
- ◆精密接着の技術体系化のためは、構造接着研究会に「**精密接着WG**」を設置(2017年度課題調査、実施内容決定、2018年度発足予定)
- ◆EWF相互認証可能な「**接着適用技術者資格認定制度**」も検討開始予定 18/21

HSC

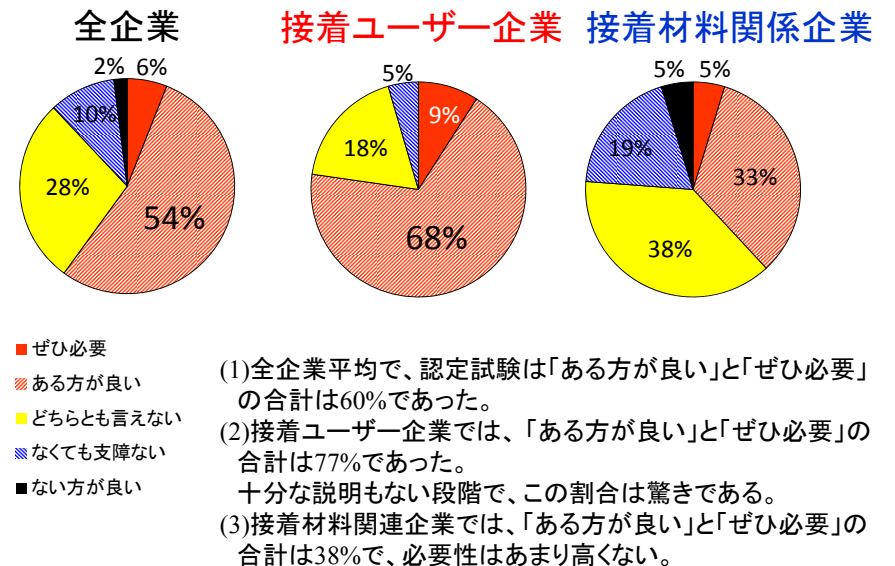
18/21

## 接着適用技術者養成講座での分野別の関心の高さ



HSC19/21

## 認定試験の必要性



HSC20/21

## 6. まとめ

- ◆**構造接着**は、欧米に比べて日本は全体的に遅れている。**周回遅れ**？  
自動車のマルチマテリアル化で日本でも各方面でPj(研究開発)が始まった  
これで短期に**キャッチアップ**できるか？
- ◆**精密接着**は、**Cut & Try**、**対症療法的域**にとどまっている。  
課題を抽出・分類・整理して、**技術として体系化**することが必要。
- ◆**高信頼性・高品質接着**は材料だけではなく、設計で決まる。  
**接着設計技術と接着管理技術**の構成要素を関連付けて**体系化**し、両技術が両輪となって進むべき。
- ◆接着は化学系技術者だけでは成り立たない。  
接着剤ユーザー側の設計技術者も接着の知識を持つことが必要。  
接着材料側技術者もユーザーに提案できる技量を持つことが必要。
- ◆そのための直近の課題は、**接着適用技術者(接着設計・管理技術者)の育成**。

◆ということで、私は、  
まだやる人が少ない精密接着の技術としての体系化と  
接着適用技術者の育成 に努めたい。

HSC21/21

## 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 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