

構造接着と精密接着のさらなる 高品質化のための課題と取組み

(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. 日本にも優れた構造接着の技術はある
3. なぜ今、大ブレイクなのか？
ー日本における構造接着技術の現状ー
4. 構造接着における課題と取組み
5. 注目されていない重要な接着分野ー精密接着ー
6. 接着適用技術者(接着設計・生産管理技術者)の育成
7. おわりに



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における異種材接合)

・鋼→アルミ→複合材料(CFRP、CFRTP)

◆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/>



- ◆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
 - 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
 - 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
 - ・「日経ものづくり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
- ◆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?

2. 日本にも優れた構造接着の技術はある

日本での異種材接合、軽量化、高精度化における構造接着の事例

【異種材接合】

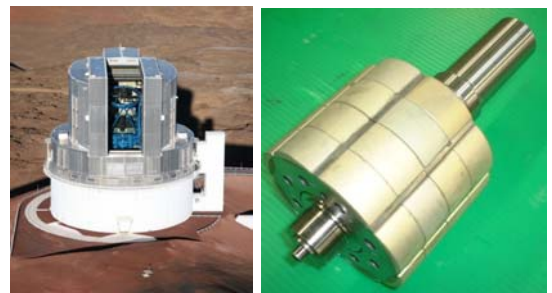
◆人工衛星の構体、太陽電池パドル、アンテナなど

- ・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



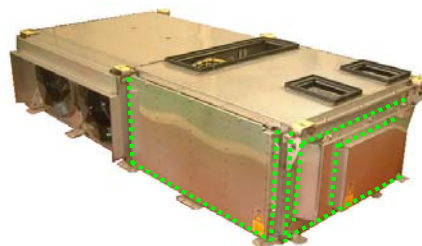
◆各種モーターの永久磁石固定

鋼/焼結体の異種材接着

【軽量化】

◆高速列車用車両空調装置

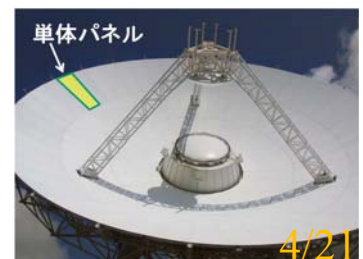
軽量、高強度・高剛性、シール



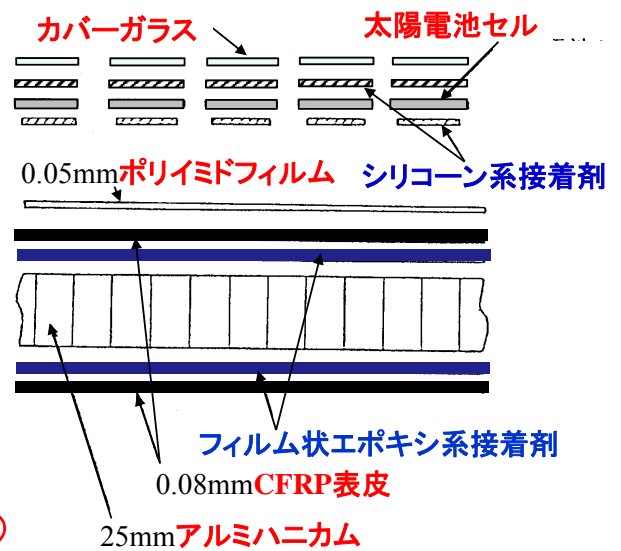
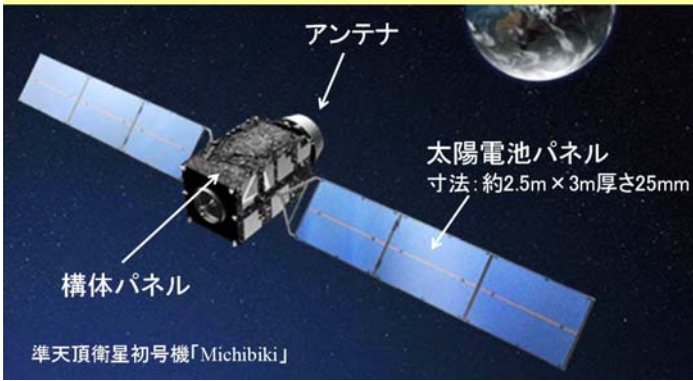
【高精度化】

◆大型電波望遠鏡の反射鏡

高精度、高剛性



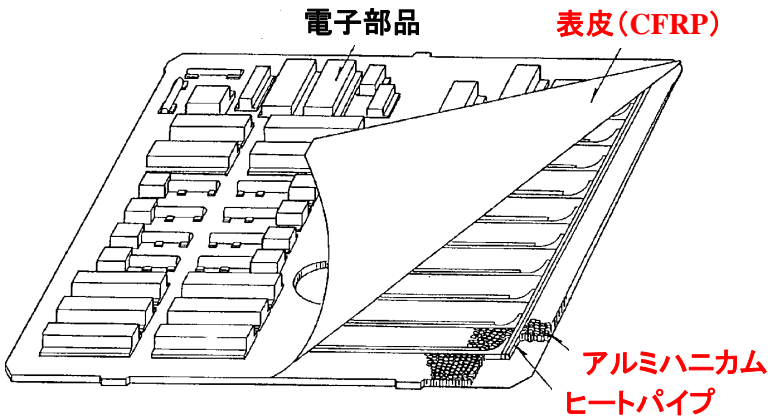
人工衛星－軽量・高剛性、異材接合－ (CFRPハニカムパネル、ソーラーセル)



【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)



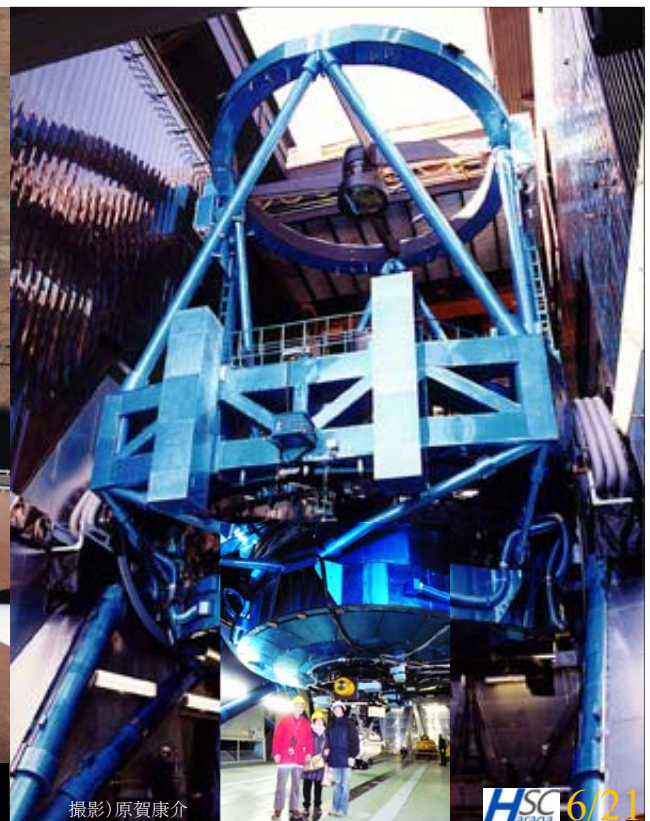
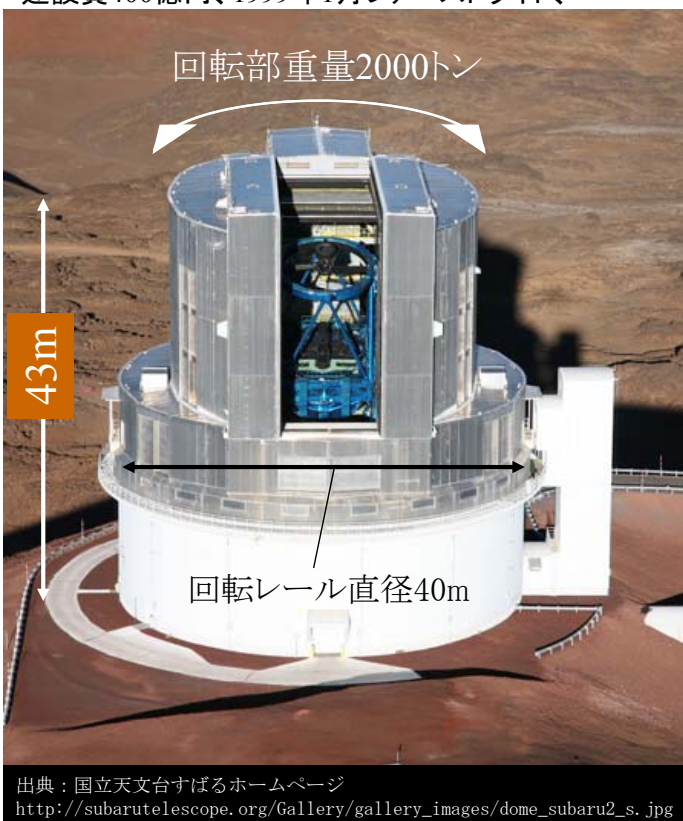
【ヒートパイプ埋込み型構体パネルの構成】

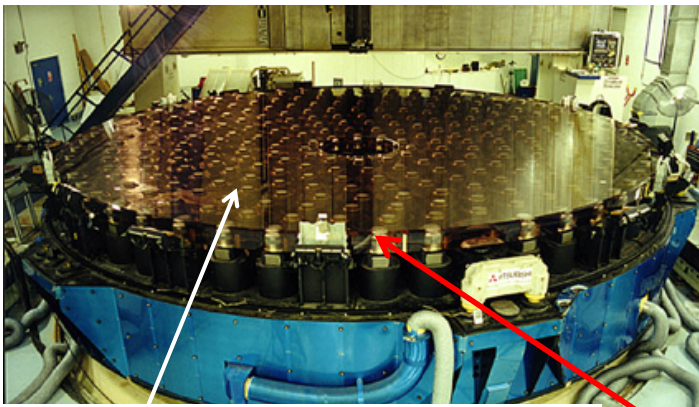
出典)原賀康介:“宇宙用機器を支える接着技術－性能への挑戦－”, 接着管理士会報(日本接着剤工業会)No.41, P.1～10.(2015)

大形赤外線望遠鏡の主鏡「すばる」－ 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).





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。

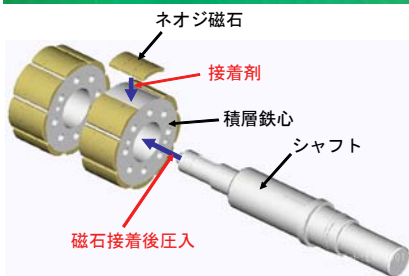
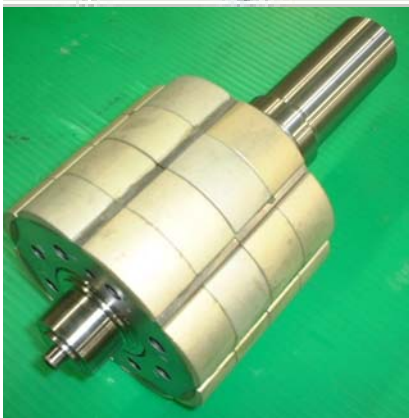
アクチュエーター(261カ所)

- ◆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

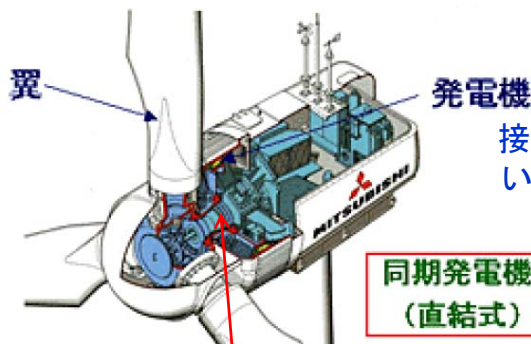
出典)原賀康介著:「高信頼性接着の実務—事例と信頼性の考え方—」(日刊工業新聞社刊), P.55-57(2013).

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 —

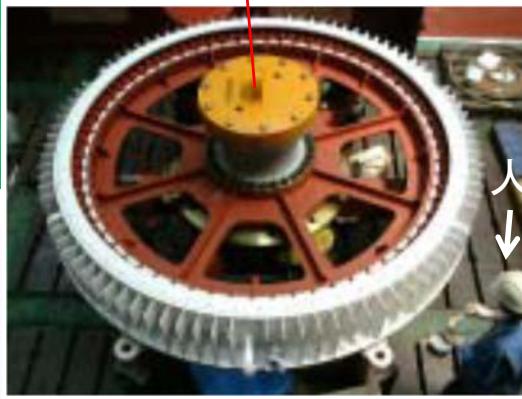
FA用サーボモーター



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
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 —



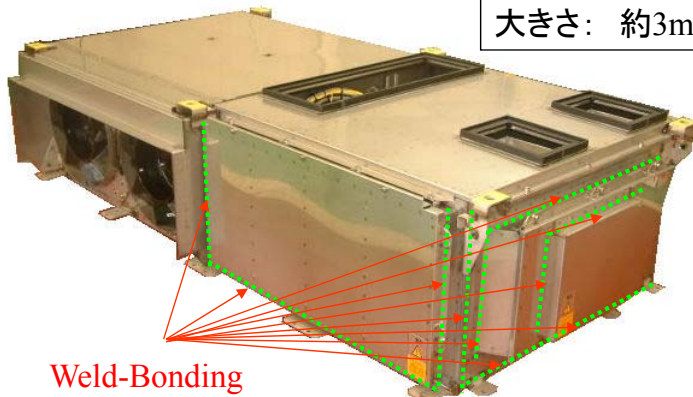
◆高速列車用機器では軽量、高剛性、シール性、耐久性が必要。

◆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)



Weld-Bonding



撮影)原賀康介

2007/1/23

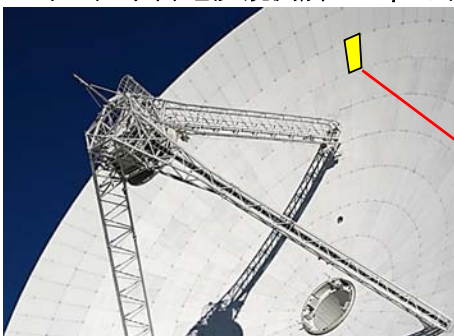
【車両空調装置の枠体】

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).

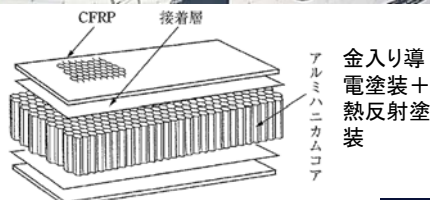
HSC 9/21

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



金入り導電塗装+熱反射塗装
アルミハニカムコア

- ・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).



撮影)原賀康介

HSC 9/21

2001年完成

水沢
小笠原
鹿児島
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. 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」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、**企業の地道で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な状態である。
- ◆即ち、**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。**
<周回遅れ>

【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。
反面、接着は、自動車では脇役に留まった（接着剤は副資材的扱い）
- ◆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。**<起死回生>**
- ◆また、自動車産業は規模が大きいいため、**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。**<本格参入～情報収集程度まで>**

11/21

4. 「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**
 - ・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（接着層厚さ、物性傾斜塗布、他）

※材料に頼らず、構造面からの対応も重要
- ◆**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

※データベース化が必要
- ◆**表面改質**
 - ・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

※高信頼性・高品質接着にとって最重要

※DIY接着と工業用接着での大きな相違点
- ◆**非破壊検査**
 - ・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

※特殊工程の管理法を用いればNDTは必須では無い

※損傷許容設計で対応可能
- ◆**インプロセス検査**
 - ・接着面の表面状態の検査

※特殊工程の管理法として重要
- ◆**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

※大型部品では、逆に作業時間の長さが必要なことも多い
- ◆**複合接着接合法の活用法**
 - ・接着剤の欠点補完、破断に対する冗長性の確保

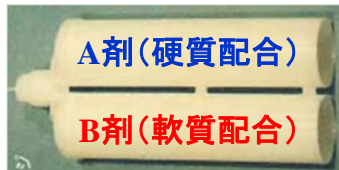
※技術のハイブリッドで、1+1=3の効果が出せる。

HSC12/21

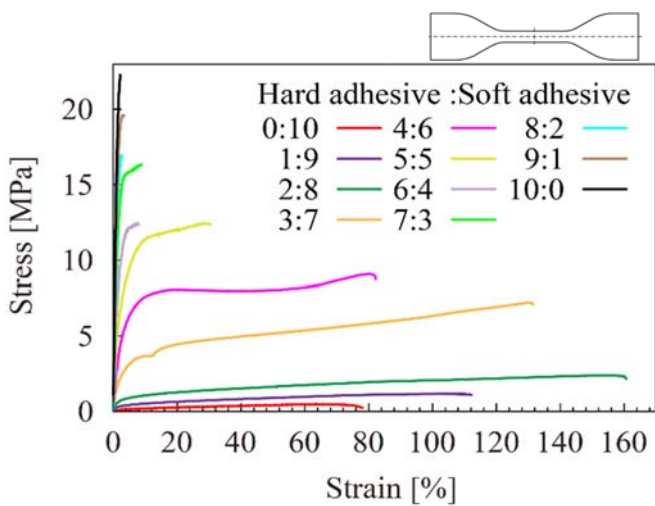
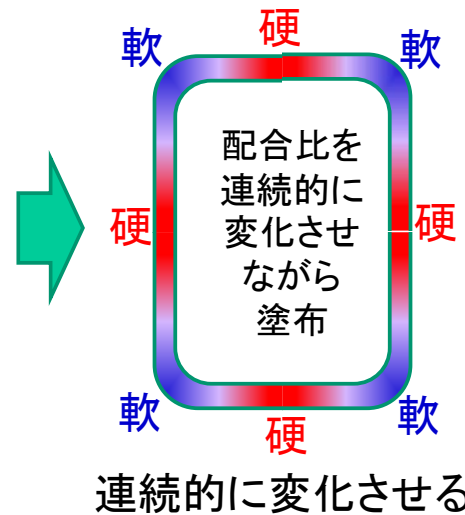
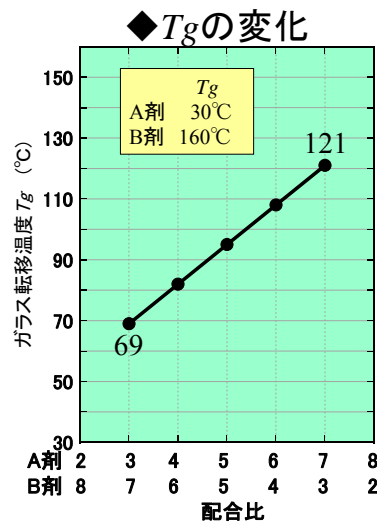
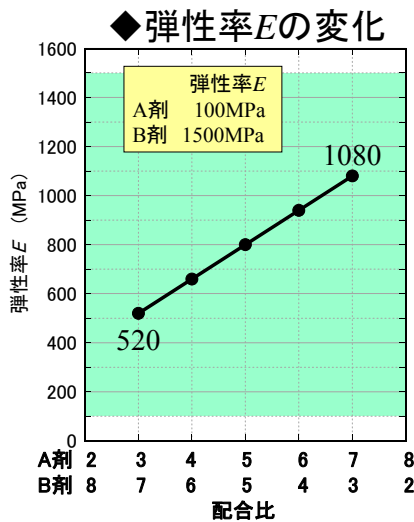
【研究例】 異種材接着における高強度と熱変形回避の両立

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

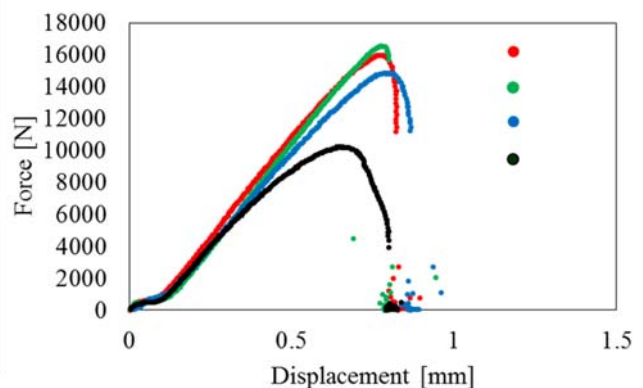
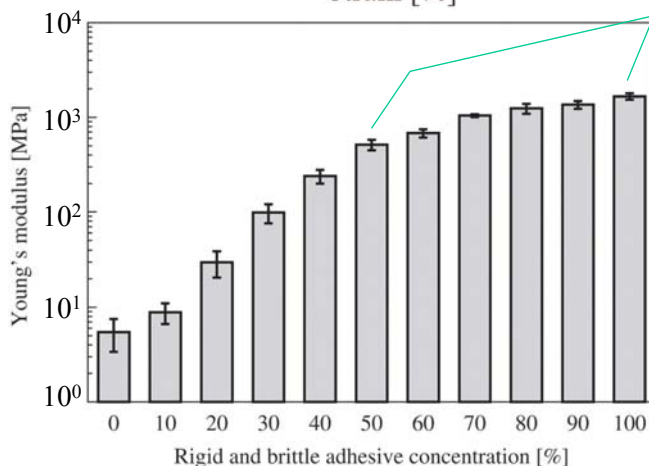
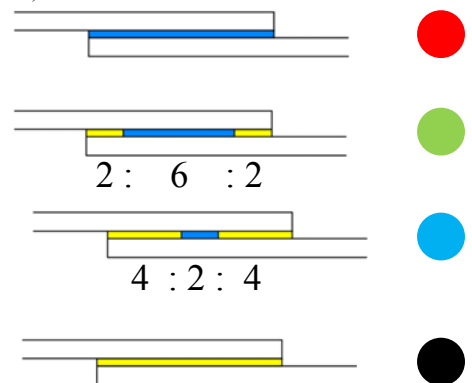
- ◆ 接着剤が柔らかければ反りは少くなるが、接着強度は低下する。
- ◆ 接着剤の硬さを連続的に任意に変化できれば、高強度と低反りを両立できる。
- ◆ 配合比許容範囲が広いSGAを用いれば、配合比変化で傾斜物性付与が可能。



二液異組成で配合比任意に変化させる



S. KAWASAKI, G. NAKAJIMA, K. HARAGA and C. SATO :
 “Functionally Graded Adhesive Joints Bonded by Honeymoon Adhesion Using Two Types of Second Generation Acrylic Adhesives of Two Components”, The Journal of Adhesion, Vol.92, P.517-534 (2016).



5. 注目されていない重要な接着分野—精密接着—

【背景】

◆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。

【精密接着の現状】

◆精密部品・精密機器の接着組立は、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、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**で、**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

◆精密接着を研究している大学・研究機関はほとんどなく、**技術者も育っていない**。
(スマホなどの大量生産機器は別。金額規模が大きい**ため多くの関連企業が強力**に取り組んでいる。)

【今後の取組み】

◆**精密・微小部品の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
HSC
Haraqi

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 ←**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

◆強度評価関係

①微小部品の接着強度評価法

②部品が壊れやすくて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加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
HSC
Haraqi

7. 接着適用技術者(接着設計・生産管理技術者)の育成

【日本の現状】

- ◆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**で進んだ。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。力学系の「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)のマッチングが不十分**
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、接着剤メーカーは下流の製品への提案までできていない。
その結果、**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。)

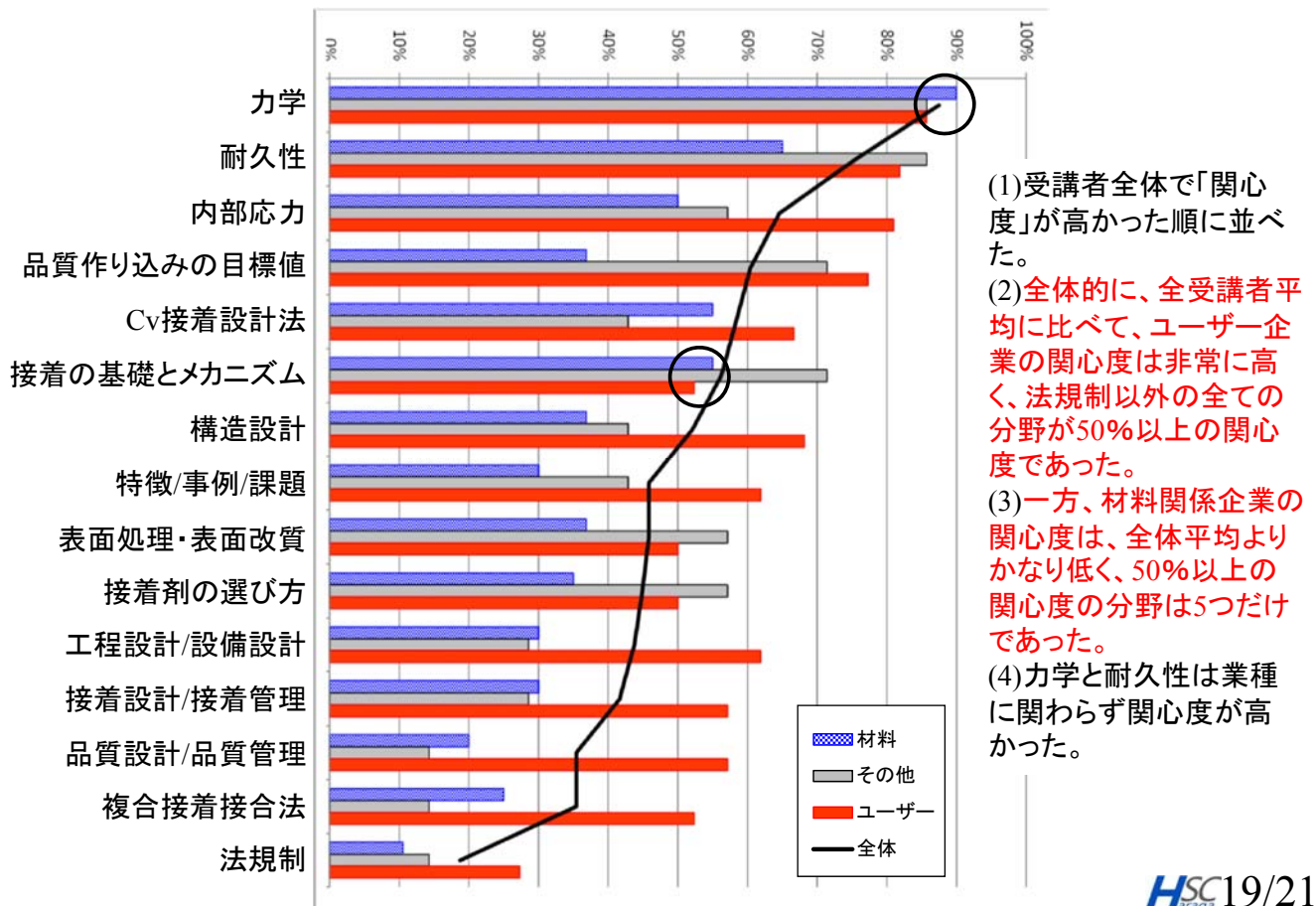
【欧州の動き】

- ◆**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)**では、接着適用の認定企業となるためには、上記の資格取得が義務付けられている。
- ◆**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。17/21

【国内での動き】

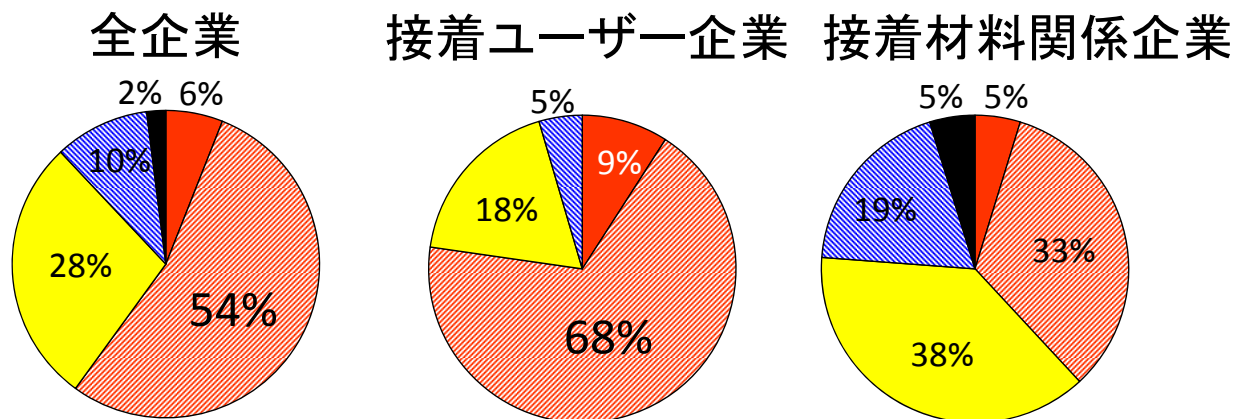
- ◆日本には、接着適用に関する規格も認定制度も、教育機関もない。
- ◆そこで、遅ればせながら、日本では、2016年度から「**接着適用技術者養成講座(4日間)**」を開始。
(主催:日本接着学会 構造接着研究会、講座長:原賀)を開始
目的:社内で接着設計・接着管理技術の中核となる技術者を養成
内容:接着設計技術と接着管理技術に必要な要素技術と各要素技術の関連性について学ぶ
構造接着研究会HP <https://www.struct-adhesion.org/trainingcourse2/> 参照
- ◆精密接着の技術体系化のためは、構造接着研究会に、「**精密接着WG**」を設置
(2017年度課題調査、実施内容決定、2018年度発足予定)
構造接着研究会HP <https://www.struct-adhesion.org/precision/> 参照
- ◆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

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



- ぜひ必要
- ある方がよい
- どちらとも言えない
- なくても支障ない
- ない方がよい

- (1)全企業平均で、認定試験は「ある方がよい」と「ぜひ必要」の合計は60%であった。
- (2)接着ユーザー企業では、「ある方がよい」と「ぜひ必要」の合計は77%であった。
十分な説明もない段階で、この割合は驚きである。
- (3)接着材料関連企業では、「ある方がよい」と「ぜひ必要」の合計は38%で、必要性はあまり高くない。

HSC20/21

- ◆あらゆる接合法には**長所**と**欠点**がある。**欠点をいかにカバーするかを考える**ことが重要。接着(剤)に過大な期待や要求をすべきではない。
- ◆**最新技術と理論**だけでは、優れた接着はできない。長年積み上げられてきた**ベーシックな知識・情報**(経験に基づくものも含めて)も併せ持つこと。
 - かつ、次々と生じる**分からないことはまず試してみる「行動力」**が必須(理論で全ては解決できない。)
 - 最終的に、接着という技術に対する**「センス」**を身につけることが重要
 - 展示会には、**隠れた無限の可能性**が潜んでいるが、それを発掘するのも技術者の**「センス」** <学者, 評論家ではなく技術職人を目指せ>
- ◆**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**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。**機械系技術者も重要**。
 - 両者ではじめて、**シーズとニーズのマッチング・一体化**ができる
 - データベース**の構築(物性・特性、耐久性)が急務
 - 設計指針・規準**に仕上げる
- ◆**製品での実用化**の成否は、**企業(技術者)の開発努力次第**。←世界初、世界一の製品を作ることへの **Challenge 精神**で、“喜び”と“成功体験”をGet!
- ◆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** 21/21

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



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