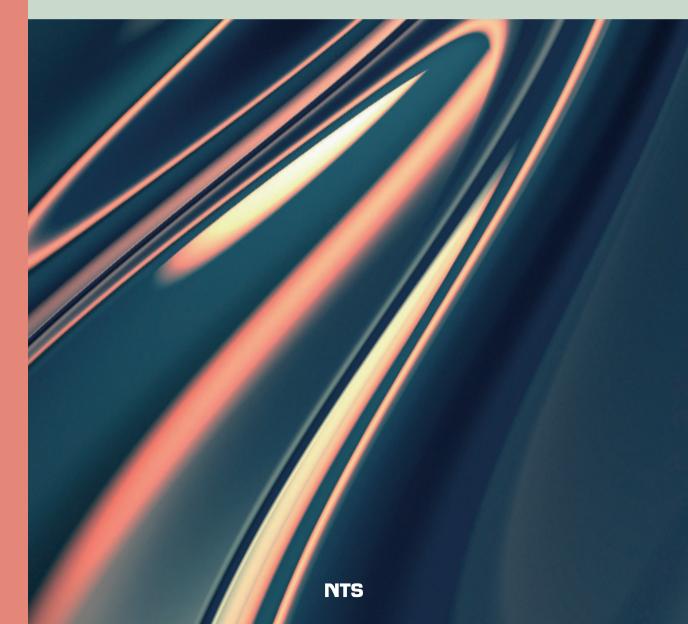
接着界面解析と 次世代接着接合技術

監修 堀内 伸



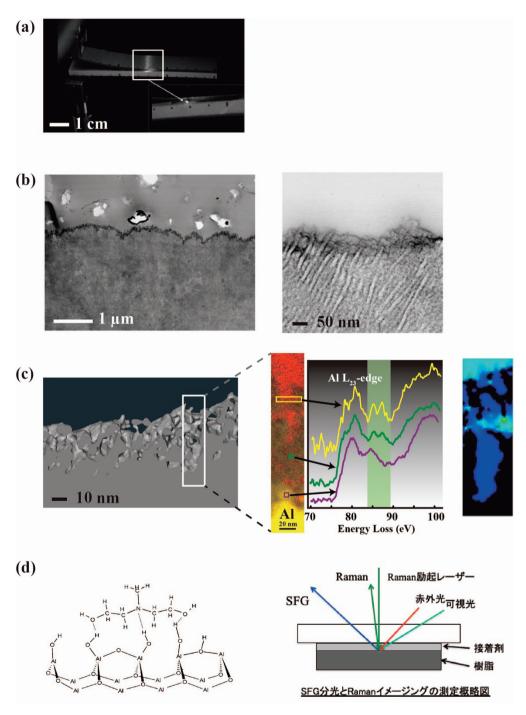
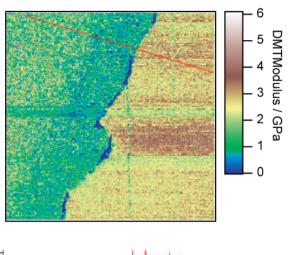


図 1 さまざまな空間スケールの接着界面現象 (p.4)

(a)応力発光による DCB(ファブルカンチレバービーム)試験でのき裂モニタリング (b)ポリプロピレンのプラズマ処理による接着界面 (c)アルミの接着界面の表面酸化膜の構造,EELS による化学的相互作用の解析,および FEM による応力解析 (d)分子シミュレーションによる界面反応解析と SFG(和周波発生分光)による界面解析



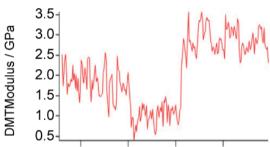


図 2 PnBMA / PVC 界面における相互拡散の様子 (p.13) (上: 弾性率像, 走査範囲 10.0 μm, 下: 断面図)

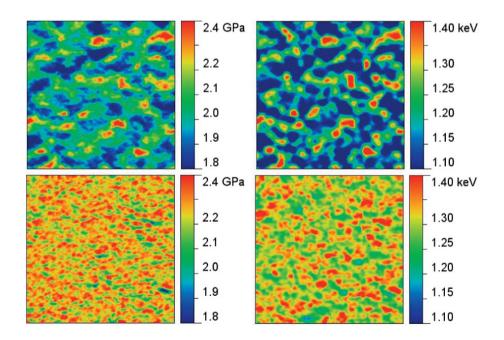


図 3 エポキシ - アミン系ネットワークの AFM ナノメカニクスの結果(p.14) (上段:転化率 80% の試料, 下段:100% の試料, 左:弾性率像, 右:エネルギー散逸像, 走査範囲 500 nm)

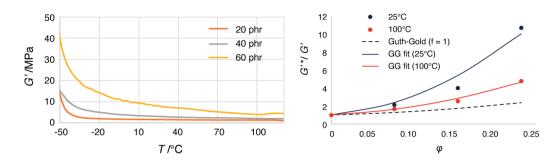


図 4 シリカ充塡 SBR の貯蔵弾性率の温度分散 (p.15) 図 5 修正 Guth-Gold 式によるフィッティング (p.15)

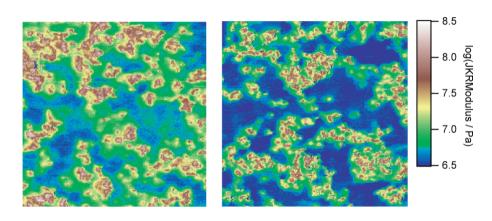


図 6 シリカ充塡 SBR の弾性率像 (p.16) (左:室温,右:75℃,走査範囲 3.0 μm)

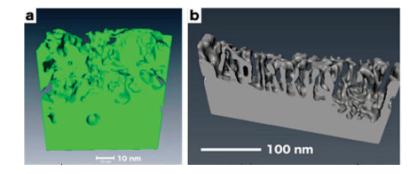


図 5 2 種類の表面処理, (a) NMT, (b) ANO, による Al5052 表面の STEM-トモグラフィーによる 3 次元構造像 (p.22)



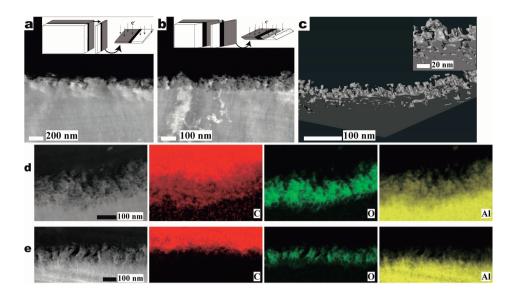


図 11 アルミ接着界面の STEM-HHADF 像と EDX 元素マップ (p.26) め切断: a: 斜め切断計判の連続傾斜像からの トモグラフィーに L A 界面 3 次

a: 垂直切断;b: 斜め切断;c: 斜め切断試料の連続傾斜像からのトモグラフィーによる界面 3 次元像;スチーム処理後(d)とスチーム処理なし(e)の STEM-HAADF,EDX 元素マップ像.

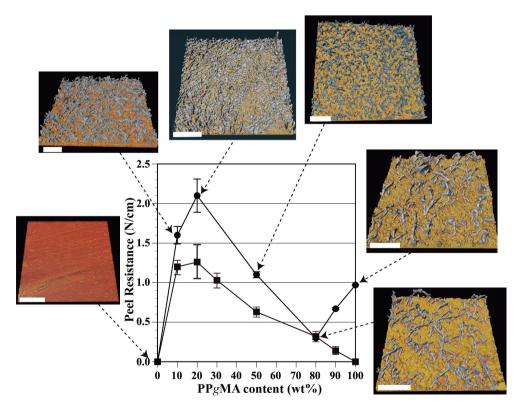


図 17 $\it i$ PP/PP $\it g$ MA ブレンドフィルムとアルミ箔とのピール接着強度の $\it i$ PP/PP $\it g$ MA ブレンド比依存性とアルミ側剥離面の破面構造(p.30)

(PPgMA 分子量; ●: Mw/Mn = 250,000/67,000; ■:9,100/3,900)



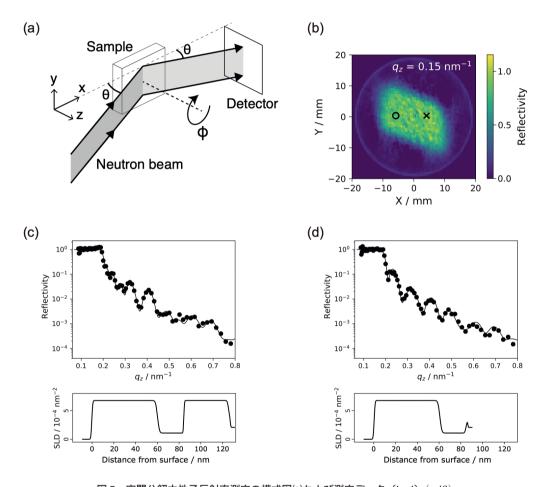


図 5 空間分解中性子反射率測定の模式図(a)および測定データ(b-d)(p.43) ((b)は平行四辺形状に成形した PMMA 積層膜の $q=0.15~\rm nm^{-1}$ における反射率の再構築画像。(c), (d)はそれぞれ(b)中の点 \bigcirc , ×における NR プロファイル(上段)および SLD 分布(下段))

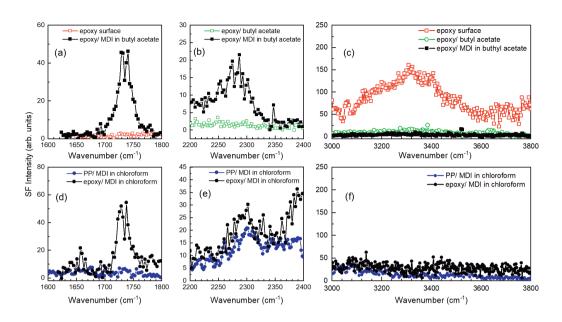


図 3 $(a)\sim(c)$ エポキシ高分子表面と MDI ブチルアセテート溶液界面,ブチルアセテート界面の SFG スペクトル. $(d)\sim(f)$ ポリプロピレンとエポキシ高分子それぞれの MDI クロロホルム溶液界面の SFG スペクトル 3 (p.49)

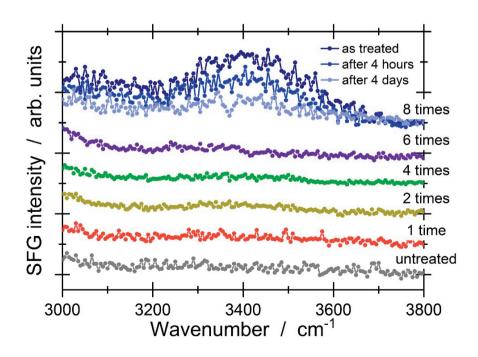


図 5 プラズマ処理したポリプロピレン表面の OH 伸縮領域の SFG スペクトル (p.51)



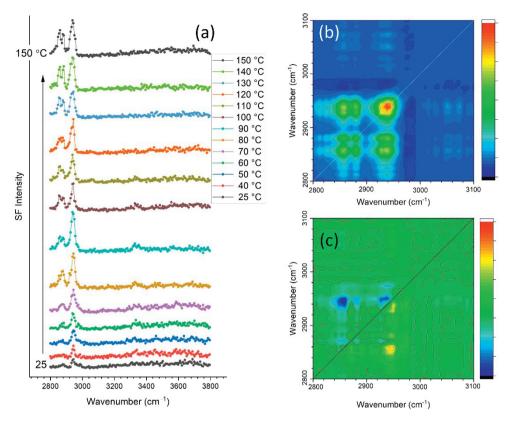


図 7 (a)室温から 150 ℃まで加熱しながら測定した、ウレタン接着剤界面の SFG スペクトルと温度変化に関する 2 次元相関スペクトル. (b)同時相関スペクトル, (c)異時相関スペクトル (p.53)

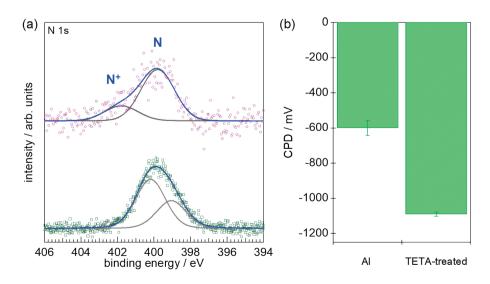


図 2 (a)接着剤界面(上)と TETA 処理した AI 箔(下)の N 1s 領域における XPS スペクトル(b) TETA の吸着による接触電位差(CPD)の変化(p.58)



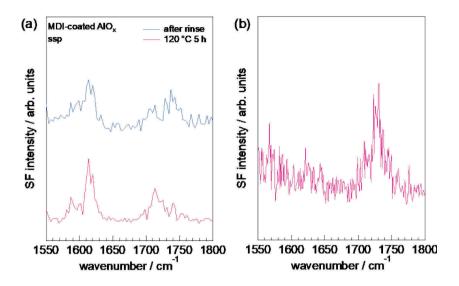


図 3 (a) MDI を吸着させた AIOx 表面の SFG スペクトル (上: アニール前, 下: アニール後) (b)ウレタン接着剤 硬化後の SFG スペクトル (偏光組み合わせは ssp (s:SFG, s: 可視光, p: 赤外光)) (p.60)

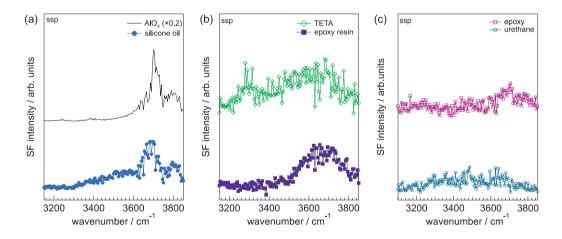


図 5 さまざまな分子と AIOx の界面に対する O-H 領域の SFG スペクトル (p.62) (a)シリコーンオイル, (b)上: TETA, 下:エポキシ樹脂, (c)上:エポキシ接着剤(硬化後), 下:ウレタン接着剤(硬化後)。



図2 DIC 解析による変位・ひずみ計測の原理。(a)変形前後における画像(赤枠はサブセットの例を示す。座標系が固定されている計測する画像を示すため、物質座標系で示した。)(b)変形前後のサブセット内の変位。(ある点の変位およびひずみをわかりやすくするため、サブセットの座標系は空間座標系で示した。びをサブセットの原点とする。) (p.67)

(a) 分析位置1 分析位置2 0.5mm (b) Cu エポキシ樹脂 エポキシ樹脂 はんだ Cu Si はんだ はんだ Cu 100um (c) エポキシ樹脂 Cu:ソース電極 はんだ Si:パワー半導体 はんだ Cu:リードフレーム ドレイン電極

図 4 加熱 SEM-DIC 解析に用いたパワーデバイスの断面 (a)光学顕微鏡写真, (b) SEM 像, (c)構造の概略。 (p.69)

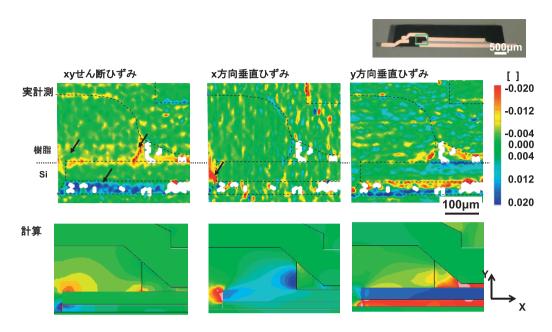


図 5 室温から 200 ℃に加熱した, Si チップ端部 (分析位置 1) におけるエポキシ樹脂/Si チップ界面に生じるひずみ分布。(上段に SEM 中で計測した実測結果を示し、下段に、FEM による計算結果を示す。) (p.70)

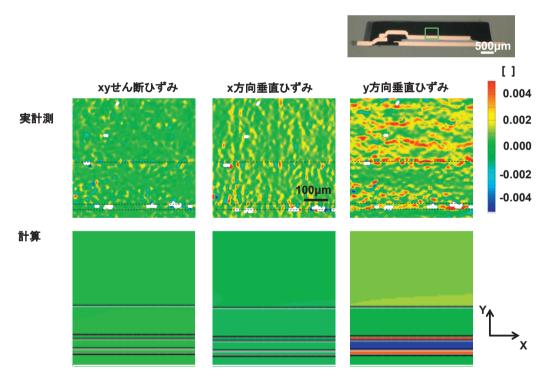


図 6 室温から 200 ℃に加熱した, Si チップ中央部(分析位置 2) におけるエポキシ樹脂/Si チップ界面に生じるひずみ分布。(上段に SEM 中で計測した実測結果を示し、下段に、FEM による計算結果を示す。)(p.71)



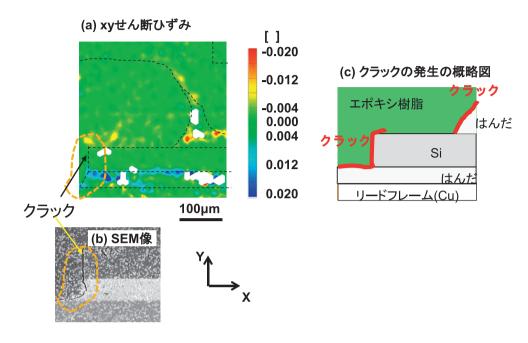


図 7 室温から 200 ℃への繰り返し加熱し後、界面にクラックが発生したエポキシ樹脂/半導体界面に生じるひずみ分布。(a) SEM-DIC 法で計測した xy せん断ひずみ, (b) SEM 像, (c)クラック発生の概略図 (p.72)

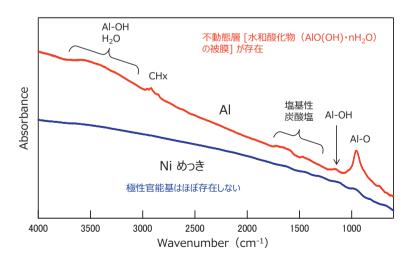


図 2 AI 基板と Ni めっき基板の FT-IR- 高感度反射スペクトルの比較 (p.84)

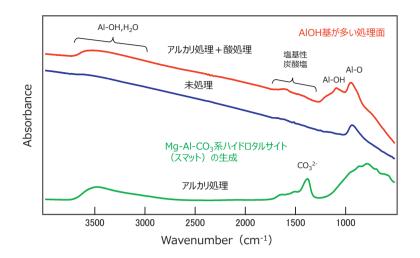


図 6 各洗浄処理後の AI 表面の FT-IR- 高感度反射スペクトルの比較 (p.87)

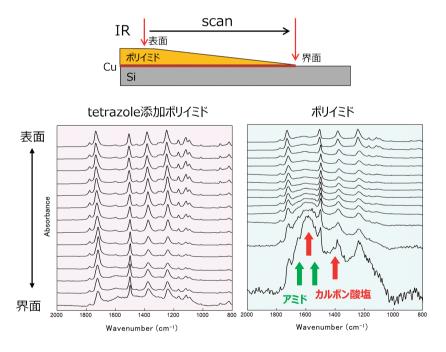


図 14 作製された切削面の顕微 IR を用いたライン分析の結果¹⁴⁾(p.91) 左:テトラゾール添加ポリイミド,右:ポリイミド

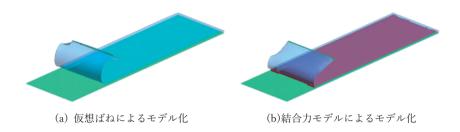
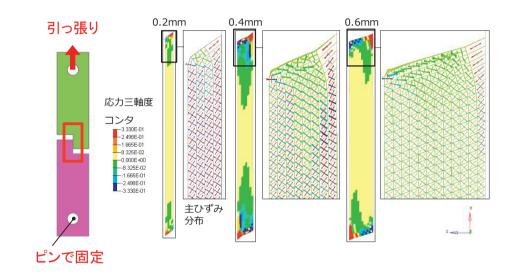


図9 結合力モデルによる接着層の可視化事例 (p.108)



Copyright © 2022 JSOL Corporation. All Rights Reserved.

図 11 TAPO モデルを用いたシミュレーション事例¹²⁾(p.109)

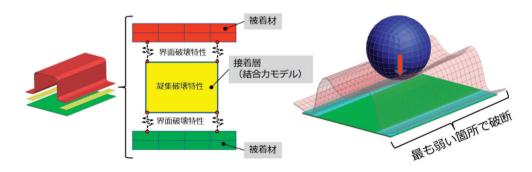


図 12 システムとしての接着のモデル化事例 (p.110)



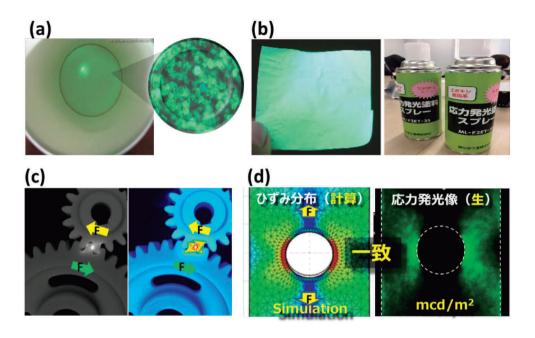


図1 応力発光の特徴 (p.130)

(a)応力発光塗料を塗布した紙コップと応力発光材料, (b)応力発光センサシートとスプレー型センサ塗料, (c)駆動ギアからの応力発光(生画像とコンター図), (d)応力発光像とシミュレーションの比較。(動画は 3) 参照)

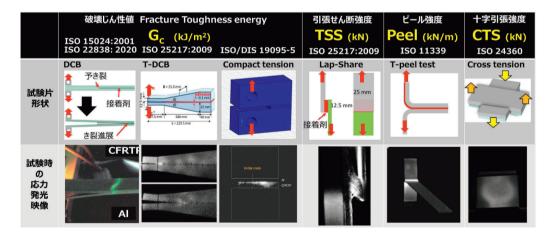


図3 国際規格のある接着強度試験の応力発光可視 (p.131)

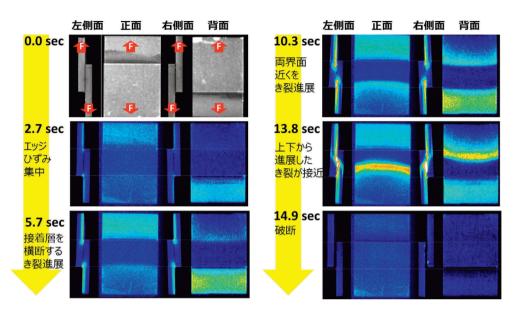


図 6 アルミ/エポキシ接着剤ラップシェア試験片の引張試験時の応力発光経時変化(輝度をコンター図表示)(p.134)

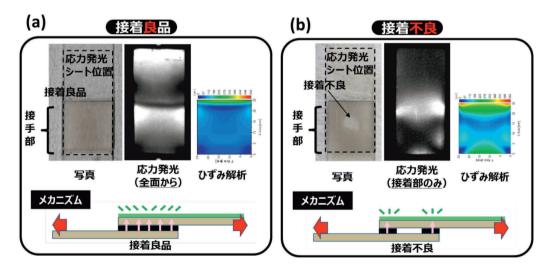


図7 応力発光による接手内部接着不良の可視化((a)良品 (b)不良品 (c)メカニズム) (p.135)

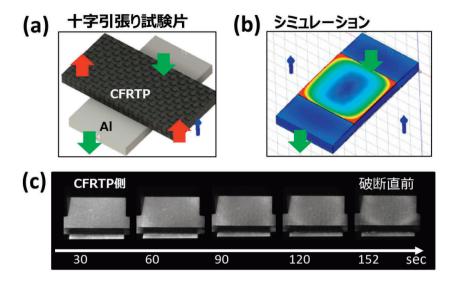


図8 十字引張り試験((a)試験片,(b)シミュレーション,(c)応力発光時系列変化)(p.136)

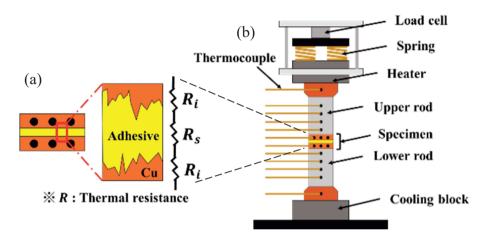


図 6 導電性接着剤の熱伝導率および界面熱抵抗評価法の概念図 (p.170)

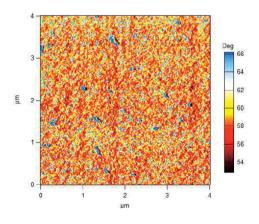


図3 混合比5:5で硬化させた AFM 像 (p.178)



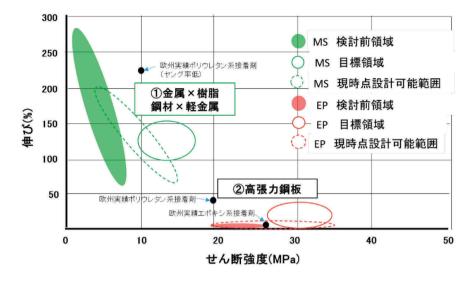


図 6 MS 系構造接着剤の目標と開発状況(緑色)(p.190)

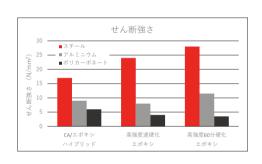


図 1 CA/エポキシハイブリッド (Loctite HY 4090) と汎用エポキシ樹脂系接着剤の基材 別せん断強さ (p.203)

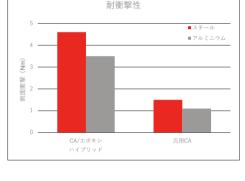


図3 CA/エポキシハイブリッド (Loctite HY 4090) と汎用シアノアクリレート系接着剤 の耐衝撃性 (p.204)

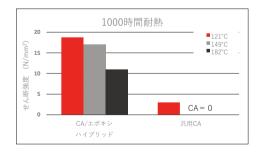


図4 CA/エポキシハイブリッド (Loctite HY 4090) と汎用シアノアクリレート系接着剤 の耐熱性試験 (p.204)

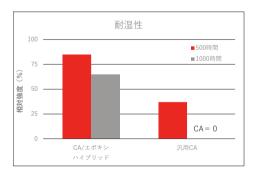


図 5 CA/エポキシハイブリッド (Loctite HY 4090) と汎用シアノアクリレート系接着剤 の耐湿性試験 (p.204)



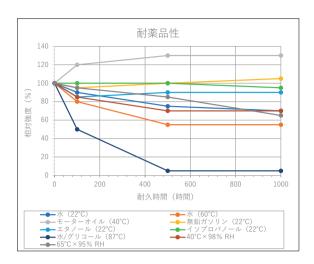


図 6/表 1 CA/エポキシハイブリッド (Loctite HY 4090) の耐薬品・溶剤試験³⁾ (p.205)

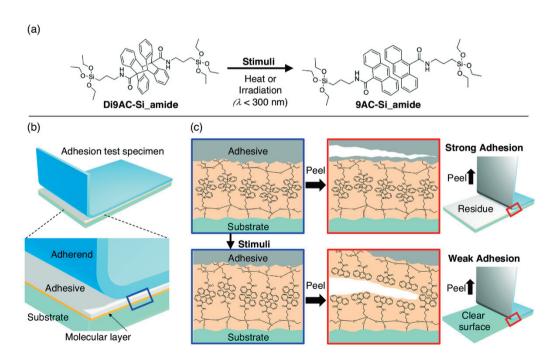


図 8 解体性プライマーの化学構造と概念図¹¹⁾(p.229)

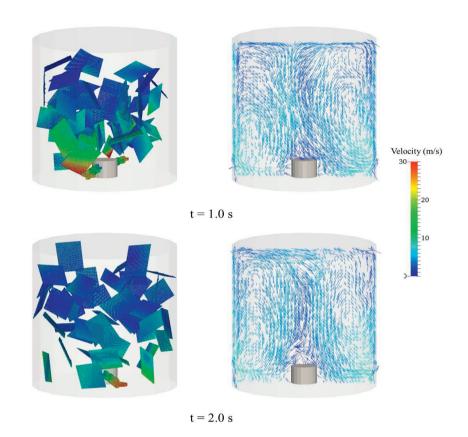


図 5 離散要素法で再現したドラム型衝撃式破砕機内の基板の様子³⁾ (p.254)

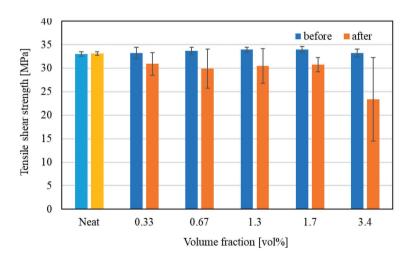


図 10 カーボンブラック粒子添加接着剤の電気パルス印加による接着強度低下の様子³¹⁾ (p.257)



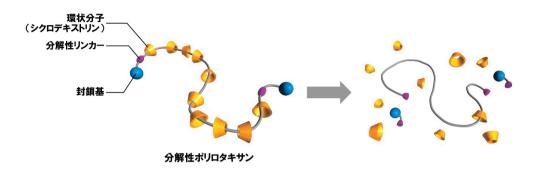
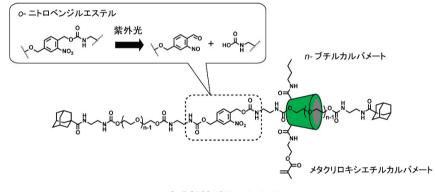


図 1 軸高分子末端に分解性リンカーを導入した分解性ポリロタキサン (p.276)



光分解性ポリロタキサン

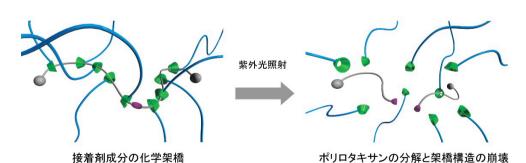


図 2 光分解性ポリロタキサンの化学構造と紫外光照射による接着剤成分の分解 (p.277)

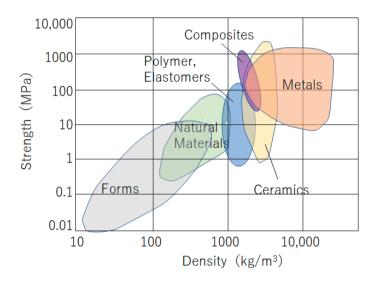


図1 材料の密度と強度の関係 (p.282)

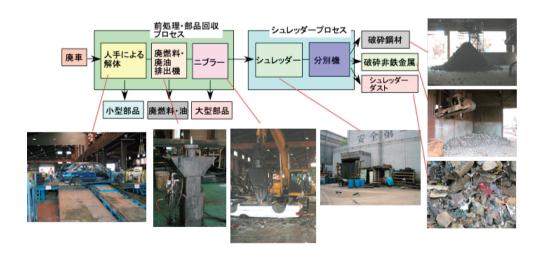


図3 現状での車体リサイクルフロー (p.287)



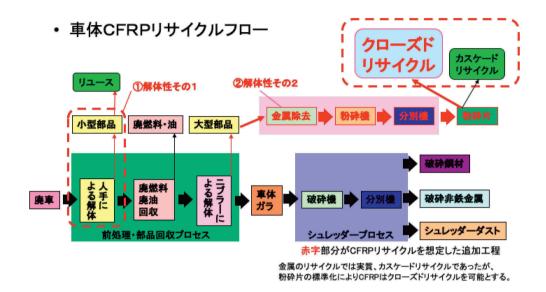


図 4 車体に CFRP が使用された場合の材料リサイクルフロー (p.288)

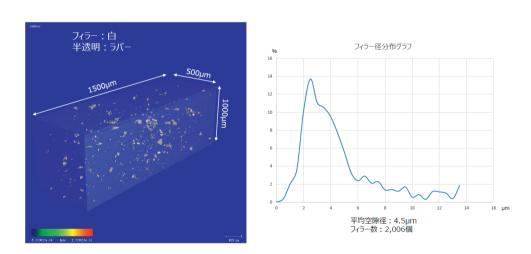


図 4 解析領域中の計算用 3D 画像とフィラー分布 (p.293)

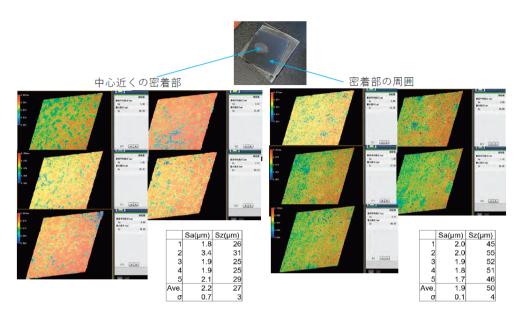
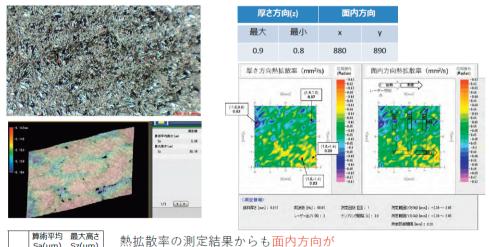


図 6 白色干渉型レーザー変位計を用いた放熱シートの表面構造解析例 (p.295)



Sa(µm) Sz(µm) 39 3.4 39 3.4 38 3.4 39 39 3.4 平均 3.4 39 0.0

100倍大きい

· 熱伝導性: 10 W / m K

・1800 W/mK の平面熱伝導性

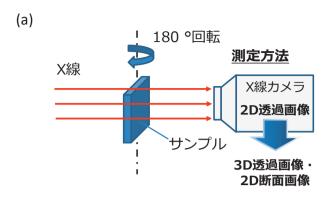
No.10はNo.6より、厚さ方向は小さく 面内は大きい ⇒ 妥当性あり

No.6 熱伝導性: 26 W/m K 700 W/mK の平面熱伝導性

厚さ方向(z)		面内方向	
最大	最小	х	У
18	18	770-777	770-883

図7 TIM の表面形状観察と熱拡散率の相関把握 (p.295)





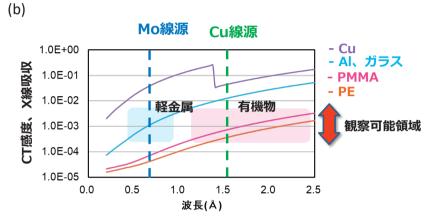


図3 (a) X線 CT (3次元 X線イメージング) の測定方法 (b) X線透過(吸収) 特性 (p.302)

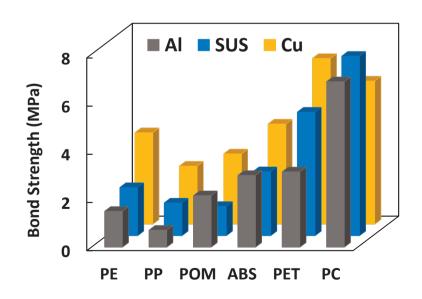


図 5 樹脂金属間のモノリス接合の強度比較 (p.307)

(PE:ポリエチレン, PP:ポリプロピレン, POM:ポリオキシメチレン, ABS:ABS 樹脂, PET:ポリエチレンテレフタレート, PC:ポリカーボネート, Al:アルミニウム, SUS:ステンレス鋼, $Cu: {\mathfrak g}$) $^{7)}$

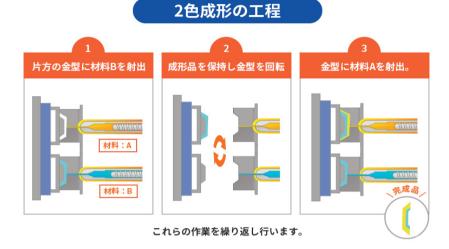
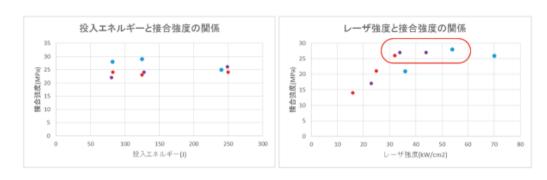


図1 2色成形概要 (大成プラス株式会社 HP より) (p.316)



スポット径:φ1.2mm スポット径:**φ1.0m** スポット径:φ0.8mm

金属基材 : A5052 $(50 \times 20 \times 1 mm)$ プラスチック :PA6 (50 × 20 × 1mm) PMS処理で 【接合条件】 レーザ出力 : 約230W : 20mm/s x 2回 ・ 63mm PMS処理領域:16mm×ビームスポット

【接合内容】

図5 レーザ照射条件と接合強度の関係 (p.338)



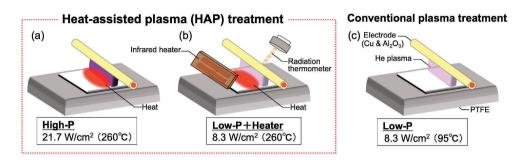


図 2 熱アシストプラズマ処理と従来のプラズマ処理との違い²⁰⁾ (p.347)

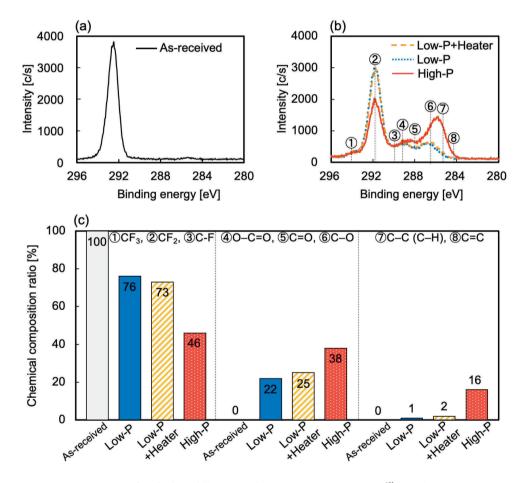
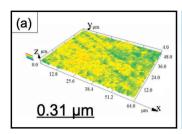
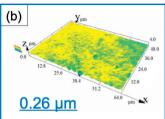


図 3 プラズマ処理前後の PTFE 表面の C1s-XPS スペクトル¹⁵⁾ (p.349)

((a)未処理 PTFE (b)プラズマ処理後の PTFE (c) C1s-XPS スペクトルのピーク分離から算出した官能基グループの比率)







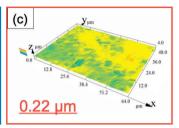
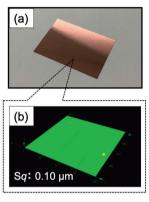
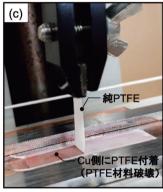


図 5 プラズマ処理前後の PTFE 表面の CLSM 像((a) As-received (b) Low-P (c) High-P) (p.350)





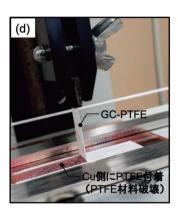
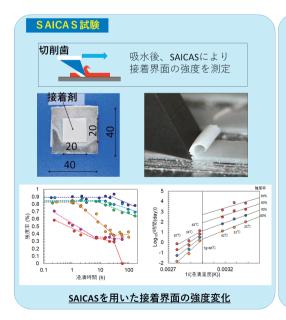


図 10 Cu/PTFE 直接接着体 ((a)超平滑 Cu 箔 (b)超平滑 Cu 箔の共焦点レーザー顕微鏡像 (c) PTFE/Cu 箔の剥離試験の様子 (d) PTFE/Cu 箔の剥離試験の様子) (p.354)



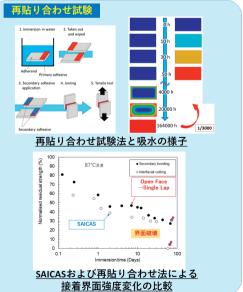


図7 接着接合部の湿熱耐久性評価 (p.370)

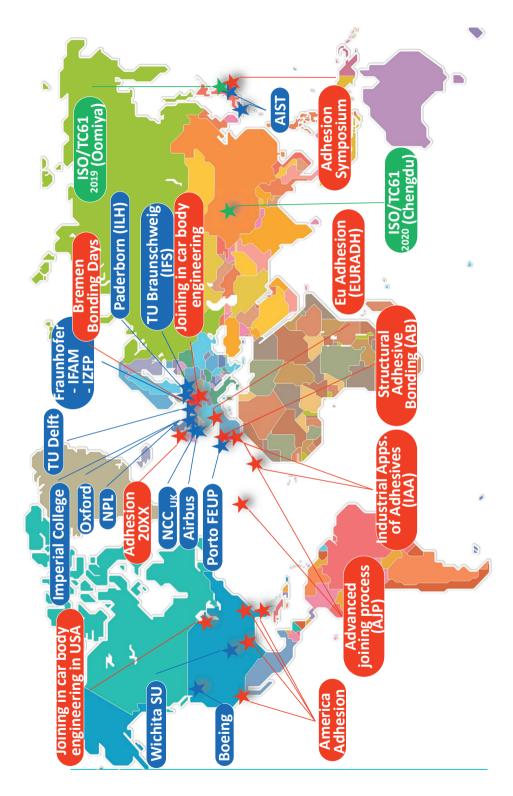


図1 接着に関する国際学会・研究室など海外動向の情報源 (p.377)

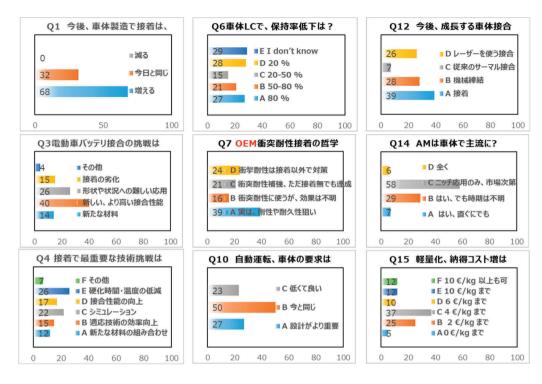


図 2 Joining in car body Engineering 2019 Live アンケートの結果(p.378)

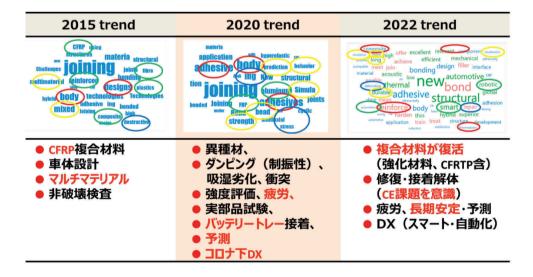
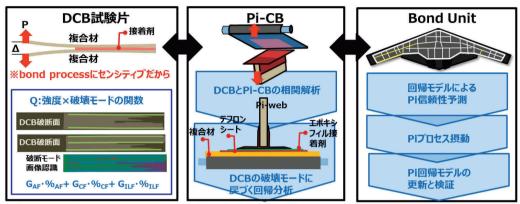


図 3 Joining in car body Engineering トレンドワード解析結果(p.379)





データ取得は自動化(In process):接触角(BTG)、FTIR、パーティクルカウンター、 湿度、コンタミ、温度、表面処理、硬化サイクル条件

図4 TRUST プロジェクト (図は米国接着学会講演, 記事 [7] を参考に, 改めて作図) (p.381)



監修者・執筆者一覧

■監修者

堀内 伸 国立研究開発法人産業技術総合研究所 ナノ材料研究部門 上級主任研究員

■執筆者(掲載順)

 中嶋
 健
 東京工業大学
 物質理工学院
 教授

 Nguyen Kim Hung
 東京工業大学
 物質理工学院
 特任助教

梁 曉斌 東京工業大学 物質理工学院 助教

堀内 伸 国立研究開発法人産業技術総合研究所 ナノ材料研究部門 上級主任研究員

青木 裕之 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 J-PARC センター 研究主幹/大学共同利用

機関法人高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 特別教授

宮前 孝行 千葉大学 大学院工学研究院 教授

赤池 幸紀 国立研究開発法人産業技術総合研究所 ナノ材料研究部門 主任研究員

今 温希 IFE テクノリサーチ株式会社 機能材料ソリューション本部ナノ解析センター 主査

橋本 哲 IFE テクノリサーチ株式会社 営業本部 兼 機能材料ソリューション本部

ナノ解析センター 専門技監

川崎 一則 国立研究開発法人産業技術総合研究所 バイオメディカル研究部門

テクニカルスタッフ

泉 由貴子 株式会社東レリサーチセンター 構造化学研究部 研究員

森田 裕史 国立研究開発法人産業技術総合研究所

機能材料コンピュテーショナルデザイン研究センター 研究センター付き

三浦 俊明 国立研究開発法人産業技術総合研究所

機能材料コンピュテーショナルデザイン研究センター 主任研究員

下位 幸弘 国立研究開発法人産業技術総合研究所

機能材料コンピュテーショナルデザイン研究センター 上級主任研究員

岡村 昌浩 株式会社 JSOL エンジニアリング事業本部 IT プロフェッショナル

大槻 直也 株式会社スリーボンド 研究開発本部技術マーケティング部技術開発課 課長

船橋 正弘 (元)国立研究開発法人産業技術総合研究所

寺崎 正 国立研究開発法人産業技術総合研究所 センシングシステム研究センター

4D ビジュアルセンシング研究チーム 研究チーム長

内藤 公喜 国立研究開発法人物質·材料研究機構 構造材料研究拠点接合·造形分野

高分子系ハイブリッド複合材料グループ グループリーダー

島本 一正 国立研究開発法人産業技術総合研究所 ナノ材料研究部門 研究員



森本 哲也 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

航空技術部門基盤技術研究ユニット 主幹研究開発員/研究計画マネージャ

井上 雅博 群馬大学 大学院理工学府 准教授

木村 和資 シーカ・ハマタイト株式会社 ハマタイト技術部 アドバイザリー・フェロー

橋向 秀治 セメダイン株式会社 技術部開発グループ グループリーダー

田口 哲志 国立研究開発法人物質・材料研究機構 機能性材料研究拠点ポリマー・バイオ分野

バイオポリマーグループ グループリーダー

山田 真一 ヘンケルジャパン株式会社 ジェネラルマニュファクチャリング & メンテナンス事業部

アプリケーションエンジニア マネージャー

平川 真 東亞合成株式会社 R & D 総合センター製品研究所 主査

高橋 信行 昭和電工株式会社 融合製品開発研究所

秋山 陽久 国立研究開発法人産業技術総合研究所 ナノ材料研究部門接着界面グループ

グループ長

小林 元康 工学院大学 先進工学部 教授

佐藤 千明 東京工業大学 科学技術創成研究院未来産業技術研究所 教授

所 千晴 早稲田大学 理工学術院 教授 / 東京大学 大学院工学系研究科 教授細田奈麻絵 国立研究開発法人物質・材料研究機構 構造材料研究拠点 グループリーダー舘 秀樹 地方独立行政法人大阪産業技術研究所 和泉センター高分子機能材料研究部

研究室長/主幹研究員

田村 篤志 東京医科歯科大学 生体材料工学研究所 有機生体材料学分野 准教授 由井 伸彦 東京医科歯科大学 生体材料工学研究所 有機生体材料学分野 教授 田嶌 一樹 国立研究開発法人産業技術総合研究所 ナノ材料研究部門接着界面グループ

上級主任研究員

松本 章一 大阪公立大学 大学院工学研究科 教授

長岡 崇 大成プラス株式会社 生産技術部技術開発課 係長

新井 進 信州大学 工学部 教授 **前田 知宏** 輝創株式会社 代表取締役

 大久保雄司
 大阪大学
 大学院工学研究科
 助教

 山村
 和也
 大阪大学
 大学院工学研究科
 教授

細井 厚志 早稲田大学 理工学術院 基幹理工学部 教授



目 次

序論	接着・接合における界面現象	为 俏	1				
第Ⅰ編	接着接合界面の解析・評価手法						
第1章	接着界面の解析						
第1節	 節 原子間力顕微鏡による粘弾性マッピング技術 中嶋 健,Nguyen Kim Hun						
	1 はじめに						
	2 AFM ナノメカニクスに利用できる AFM の各種のモード·······		10				
	3 AFM ナノメカニクスの実例		1				
	4 おわりに		16				
第 2 節	電子顕微鏡による接着界面の実空間解析	堀内	俳				
_	1 緒言		19				
	2 走査透過型電子顕微鏡による接着界面の解析 ····································						
	3 被着体の凹凸効果一樹脂/金属直接接合···································						
	4 STEM-EELS によるアルミ接着界面の化学結合解析						
	5 接着界面の破壊と界面層形成						
	6 電子顕微鏡による接着界面破壊のリアルタイム観察 ····································						
	7 おわりに		34				
第3節	中性子反射率による界面の構造解析	手 木	裕之				
71 J 14							
	2 中性子反射率法の原理と特徴						
	3 中性子反射率による高分子薄膜・界面解析						
	4 中性子反射率の新しい展開						
	J \$200		··· 4:				
第4節	和周波発生(SFG)分光による接着接合界面解析	宮前	孝行				
	1 はじめに		4				
	~ 2 SFG 分光の特徴と測定装置の構成・測定上の注意点 ····································		46				
	3 SFG 分光による表面・界面分析の実例		47				
	4 おわりに		54				
第5節	接着剤/アルミニウム界面の多角的分析	示池	幸紀				
	1 はじめに		57				
	2 界面化学反応の検証		58				
	3 接着剤の官能基配向状況						
	4 おわりに		63				

第6節	加熱 SEM-DIC 解析法を用いた樹脂 / 金属界面の in situ ひずみ評価						
O		哲					
	1 はじめに	. 65					
	2 DIC 解析で得られるひずみ····································						
	3 in situ 加熱 SEM-DIC 解析法の方法···································						
	4 in situ 加熱 SEM-DIC 解析法によるパワーデバイスにおけるモールド樹脂に生じる						
	, ひずみの評価結果 ····································						
	5 まとめ						
_							
第 7 節	表面レプリカ法による接着体構造の電子顕微鏡解析						
	川崎 一則,堀内	伸					
	1 はじめに	. 75					
	2 表面レプリカ法について	. 75					
	3 接着体の表面構造に関する表面レプリカ法による評価	. 77					
	4 おわりに						
0							
第8節	分光法による金属/樹脂接着界面の分析・解析技術	貴子					
	1 はじめに	. 83					
	2 接着接合の要因とは						
	3 AI/エポキシ樹脂の接着界面一水素結合の寄与一						
	4 銅/樹脂の接着界面一銅による樹脂の劣化—						
	5 おわりに						
第2章	接着界面のシミュレーション解析						
1							
第】節	接着界面のマルチスケールシミュレーション解析						
	森田 裕史,三浦 俊明,下位 雪	₽弘					
	1 はじめに	. 93					
	2 接着界面の破壊過程に関する分子動力学シミュレーション研究事例紹介						
	3 まとめおよび今後の展望	100					
2							
第一章	FEM 解析による接着接合の破壊解析	昌浩					
	1 はじめに	103					
	2 接着接合部の破壊の種類	104					
		104					
	4 接着剤による接合と破壊のモデル化手法	105					
	= \cdot = 11 \chap 1 \cdot 1	110					
	6 界面破壊とシステムとしての破壊のモデル化	110					
2							
第3節	分子シミュレーションによる接着剤/被着体界面の接着性解析						
		重也					
	1 はじめに	113					
	7 接着剤/被着休界面の接着剤成分の偏析挙動						



	黄		
	4 接着剤の強靱化メカニズムと接着強さ予測		118
	5 おわりに		121
第3章	接着接合の特性評価手法		
第 1 節	接着の特性評価試験方法に関する国際標準化(TC61/SC1		ij
		⋯⋯⋯ 船橋	正弘
	1 ISO について		123
	2 ISO 規格の審議		124
	3 TC61/SC11/WG5 の ISO 規格 ·······		124
2			
第2節	応力発光による接着界面の接着強度可視化技術		正
	1 緒 言		129
	2 応力発光技術―ダイナミックなひずみ情報の見える化技術―		129
	3 国際規格のある接着強度試験の応力発光可視		
	一力学挙動、破壊起点の理解を目指して一		131
	4 結 言		136
2	Lie Mai Lie B. Lieu Lie M. M. W. W. St. St. St. St. St.		
第3節	接着接合部の疲労挙動評価手法		公喜
	1 はじめに		139
	2 実験		139
	3 実験結果および考察		141
	4 おわりに		145
m. 1 m.	Librate Libration of the Land State Protection Vol.	. .	_
第4節	接着接合部の耐水性評価手法		一正
	1 はじめに		147
	2 水が接着接合部に与える影響		147
	3 open-faced 試験片を用いた耐水性評価······		149
	4 おわりに		152
第 5 節	異種材接着体の電触評価手法	**	折扣
	1 緒言		
	2 腐食現象の熱力学		
	3 不働態皮膜による耐食性と旧来の試験規格		157
	4 マルチマテリアル化を見据えた新しい試験規格		158
	5 結 言		163
第6節	導電性接着剤の接着界面特性評価	····· # F	雅博
HA O TH	すもに		
			165
	2 導電性接着剤の電気および熱伝導特性		165
	3 導電性接着剤/電極間界面での電気および熱伝導特性 4 まとめ		168 171
	十 まこめ		1/1



第Ⅱ編 接着剤の開発と次世代接着接合技術

第	1章	新規接着剤の	開発
277	. —	イバングリタノ日 フリマノ	של נדתו

第1節	高強度ウレタン系接着剤の開発	木村	和資
	1 はじめに		175
	2 異種部材接合におけるポリウレタン系接着剤の位置づけ		
	3 高強度フレキシブルウレタン接着剤		
	4 構造用接着剤として適用した場合の有用性 ····································		
	5 応用展開等について ····································		
	6 今後の展開と課題等		
第2節	変成シリコーン樹脂系接着剤の開発	橋向	秀治
_	1 はじめに		185
	2 弾性接着剤とは ····································		
	3 MS 系弹性接着剤 ····································		
	4 MS 系接着剤の用途 ····································		
	5 MS の自動車構造用異種材接合への応用		
第3節	生体組織接着剤の開発	田口	哲志
•	1 はじめに		193
	2 生物の生息温度とコラーゲンからゼラチンへの変性特性 ···································		
	3 生体組織接着性ゲル ····································		
	4 生体組織接着性ゲルの癒着防止効果		
	5 生体組織接着性粒子		
	6 まとめ		
第4節	LOCTITE ハイブリッド構造用接着剤の開発	. 山田	真一
•	1 はじめに		201
	2 シアノアクリレート系接着剤の反応機構 ······		
	3 エポキシ樹脂系接着剤の反応機構		
	4 シアノアクリレート-エポキシ樹脂ハイブリッド構造用接着剤の特性		
	5 まとめ		
第5節	次世代高速通信用 FPC 対応低誘電性接着フィルムの開発		
		平/	真
	】 フレキシブルプリント基板(FPC)の技術動向 ······		
	2 次世代高速通信用 FPC		207
	3 FPC 用接着剤の種類と役割		
	4 高速通信用 FPC 対応接着フィルムの要求特性と開発の方向性		209
	5 高速通信用 FPC 対応低誘電性接着フィルムの紹介		211
	6 おわりに		215

第6節	WelQuick®:フィルム接着剤による簡易接合ソリューション	喜矮	信行
	1 市場ニーズと WelQuick® の特長 ······		
	2 WelQuick®の簡便性		
	3 WelQuick® の接着性能····································		
	4 WelQuick® の汎用性 ····································		
	5 まとめ		224
第2章	解体性接着剤の開発		
第 1 節	光固液相転移による可逆接着剤の開発		
	1 はじめに		
	2 光相転移材料の利用		
	3 転移温度制御		
	4 高分子系光相転移材料		
	5 可逆架橋材料		
	6 まとめ		230
第2節	ポリマーブラシを利用した繰り返し接着技術	·· 小林	元康
	1 はじめに		233
	2 接着界面に用いるポリマーブラシの調製		233
	3 高分子電解質ブラシによる接着		
	4 双性イオン型ポリマーブラシによる接着		
	5 水素結合性ポリマーブラシによる接着		
	6 おわりに		240
第3節	加熱剥離が可能な解体性接着剤の開発	·· 佐藤	千明
	1 はじめに		243
	2 解体性接着剤の用途,種類および特徴		
	3 最近のトピックス		
	4 おわりに		249
第4節	外部刺激による接着解体技術の開発	所	千晴
	1 はじめに		251
	2 特殊機械粉砕による接着剥離		
	3 電気パルス印加による接着剥離		254
	4 おわりに		257
第5節	バイオミメティクスによる可逆的接着の開発		
	1 はじめに		
	2 生物の歩行(一時的な接着)		
	3 ドライ系の接着		
	4 ウエット系の接着機構		
	5 バイオミメティクス		263

	6 まとめ	265
第6節	分解性架橋剤を用いる解体性接着技術の開発	秀樹
/ U / ·		
	1 光分解性架橋剤の概要 2 光分解性架橋剤を用いた架橋樹脂の光分解	
	3 光重合と光分解が可能なフォーミュレーション····································	
	4 光分解性架橋剤の未来 ····································	
	4 九万府は未倫別の不不	2(3
第 7 節	紫外光照射で接着力が低下する歯科用接着剤の開発	
		伸彦
	1 歯科用接着剤⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯	
	2 分解性ポリロタキサン	276
	3 光分解性ポリロタキサンを架橋剤とした歯科用接着剤	
	4 おわりに	279
第3章	次世代接着接合技術	
第 1 節		千明
•	1 はじめに	281
	1 は550に 2 構造の軽量化とは ····································	
	3 マルチマテリアル化と軽量化	
	4 問題となる異材接合	
	5 接着技術の実際 ····································	
	6 リサイクルとは? ····································	
	7 おわりに	
第 2 節	電子デバイスの熱マネジメント技術の高度化に資する接着技術開発	
da 🔽 ek	田リノバーハのボ、イマグマー 女間の同反じに負する抜有女門の元	一樹
	1 研究背景	
	2 電子デバイスの熱マネジメント技術	
	3 NEDO 先導研究プログラム/新技術先導研究プログラムにおける研究開発·········	
	4 まとめ	
第3節	多孔質エポキシモノリスを利用した異種材料接合技術	
	松本	章一
	1 はじめに	297
	2 異種材料接合技術の開発状況	297
	3 エポキシモノリスの形成	298
	4 モノリス多孔構造制御と非破壊観察	
	5 エポキシモノリスの機械物性の特徴	
	6 エポキシモノリスを用いる異種材料接合	305
	7 基材表面改質ならびに接合強度の向上	
	8 共連続ネットワークポリマー(CNP)への応用	311
	9 おわりに	312

第4節	インサート射出成形による金属/樹脂接合技術	長岡	崇
_	1 はじめに		315
	2 射出接合		315
	3 射出接合向け金属表面処理の種類		316
	4 NMT 概要 ······		319
	5 NMT の適用可能材料		320
	6 射出接合体の需要および目的		321
	7 NMT 適用例からみる射出接合技術の利点······		
	8 おわりに		323
第5節	粗面化めっき膜を利用した鉄鋼と樹脂の異種材料接合技術		
	1 はじめに		
	2 粗面化めっき法による異種材料接合		
	3 粗面化 Ni めっき膜を利用した鉄鋼と樹脂の異種材料接合		
	4 粗面化 Cu めっき膜を利用した鉄鋼と樹脂の異種材料接合		
	5 おわりに		332
第6節	金属表面への隆起微細構造形成による樹脂との直接接合		
		前田	知宏
	1 はじめに		333
	2 金属とプラスチックの直接接合の概要		333
	3 金属表面への隆起微細構造形成方法		334
	4 ポジティブアンカー効果による金属-プラスチックとの接合		
	5 まとめ		342
第 7 節	熱アシストプラズマ処理によるフッ素樹脂-異種材料の直接接	接着技術	Ť
•			
	1 はじめに		345
	2 実験方法および評価方法		
	3 実験結果		348
	4 おわりに		354
第8節	ナノ空間構造体による金属-CFRTP 積層板直接接合技術		
J		細井	厚志
	1 はじめに		357
	2 陽極酸化処理およびエッチングによるナノ構造の作製		357
	3 接合方法および試験条件		359
	4 試験結果		361
	5 おわりに		363



第4章 接着接合技術における産学連携と国際動向

第 1 節	ISMA プロジェクトにおける接着技術開発 佐藤	千明
	1 はじめに	365
	2 NEDO プロジェクトの概要	
	3 接着技術開発	
	4 表面処理技術の開発	
	5 強度評価法および耐久性予測法の開発	369
	6 接着界面の分析法の開発	
	7 検査技術の開発	
	8 おわりに	372
第2節	国際連携と海外研究動向	Œ
	1 緒 言	375
	2 世界の接着研究国際会議の紹介一情報源として一	375
	3 世界の研究開発動向一公的プロジェクトを中心に一	379
	4 結 言	381
第3節	接着技術分野における SDGs の取組み 秋山	陽久
	1 はじめに	385
	2 リサイクル対応	385
	3 バイオベース接着剤	385
	4 まとめ	390

※本書に記載されている会社名、製品名、サービス名は各社の登録商標または商標です。 なお、本書に記載されている製品名、サービス名等には、必ずしも商標表示(\mathbb{R} , TM)を付記していません。



序 論 接着・接合における界面現象

国立研究開発法人産業技術総合研究所 堀内 伸

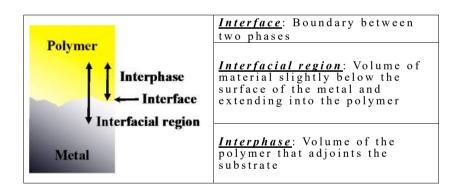




序 論 接着・接合における界面現象

省エネルギー、低炭素社会の実現に向け、自動車等輸送構造体の軽量化が取り組むべき課題となっている。アルミニウムや CFRP 等の軽量部材を適材適所に組み込んだマルチマテリアル構造」では、従来の溶接接合が難しく、接着接合が有望な接合方法と考えられている。しかし、安全・安心が強く要求される分野で接着を導入するには、基本的な接着現象をより深く知る必要がある。「接着」(Adhesion)とは、「2つの物体が接した時に互いを引きつける現象」であり、材料、デバイス、生体組織などさまざまな分野の現象が含まれる。しかし、我々がここで取り組む課題は、構造体を組み立てる際に部材を接着剤で接合したり、樹脂材料と金属を直接接合したりする接着におけるメカニズムの解明であり、(Adhesive)Bonding、である。接着のメカニズムでは、古くから機械的接着(アンカー効果)、化学的接着、拡散接着などと整理されているようであるが、このような単純な分類で、接着メカニズムを十分に理解することは難しく、接着接合に安全・安心がもたらされるとは考えにくい。

メカニズムを語る前に、「接着界面」とは何かを明確にする必要がある。「界面」は材料のみならず、電子デバイス、触媒、コロイド化学などあらゆる場面で扱われる。多くの場合、分子・原子レベルでの相互作用が議論されるが、「接着界面」は、他の界面とは異なる側面を有する。接着メカニズムを議論する上で取り扱うべき界面とは、被着体や接着剤のバルクと異なる構造・物性を有する領域であり、被着体の表面処理や接着剤の硬化過程で形成する。単純に異種材が接触する2次元の"interface"ではなく、3次元の広がりをもった領域であるため、"interphase"と呼ぶことができる²。接着における"interphase"は1980年代に提唱されており、下記のように定義されている。また、界面での化学結合の解析も検討されているが、今日に至るまで十分な解明はされていない。



高分子の側から界面を考えると、異種材(接着剤や金属)との界面には、以下に掲げるようなスケールの異なるさまざまな構造が含まれる。

- ① 表面処理に伴う官能基形成と化学結合の有無
- ② 分子鎖絡み合い
- ③ 結晶構造
- ④ 界面凹凸構造
- ⑤ 表面処理による高分子の劣化層

また,金属との接着では,表面処理によりできた酸化膜等の異質層が形成する。さらに接着

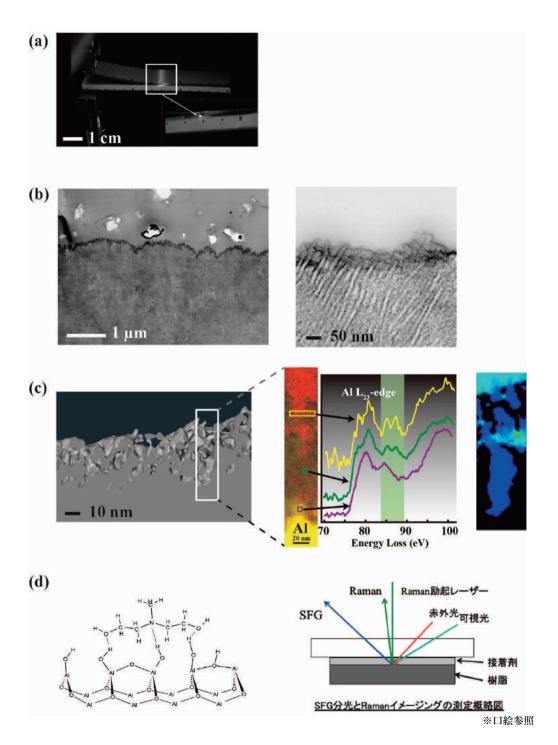


図1 さまざまな空間スケールの接着界面現象

(a)応力発光による DCB(ファブルカンチレバービーム) 試験でのき裂モニタリング (b)ポリプロピレンのプラズマ処理による接着界面 (c)アルミの接着界面の表面酸化膜の構造,EELS による化学的相互作用の解析,および FEM による応力解析 (d)分子シミュレーションによる界面反応解析と SFG(和周波発生分光)による界面解析





序 論 接着・接合における界面現象

剤成分の界面偏析や接着剤に含まれる相分離構造や架橋構造が被着体の影響によりバルクと異なる構造が広がりをもって形成することもある。

このように空間的に広がりを持った "interphase" の中でどの構造要因と構造間でのインタープレイが接着の本質に重要であるかを理解するために、「接着界面」を俯瞰的に解析することになる。界面での化学結合の有無や水素結合などの非共有結合の形成など分子レベルの界面現象にのみ注視しても、接着メカニズムにはたどり着けない。また、「接着界面」の特性を高精度で評価することが大事であり、破壊や劣化挙動を注意深く解析することが重要となる。破壊・劣化挙動を「界面破壊」と接着剤内部で破壊が進行する「凝集破壊」に単純に分類することはできず、実際の現象は複合的であり、「接着界面」のどの構造にどの程度破壊・劣化の要因であるかを特定するべきである。

図1には、さまざまな空間スケールでみられる接着に関与する界面現象を例示した。(a)は CFRP/Al の接着界面き裂進展を応力発光で可視化したもので、き裂に先立つ~1 mm の領域 に塑性変形領域が発生する。(b) は結晶性ポリマーのポリプロピレン(PP)への大気圧プラズマ 処理による接着であり、PP の表面には μm スケールの凹凸が形成し、さらに結晶性や結晶ラメラの配向などが接着因子となる。(c) はアルミの接着であり、表面酸化層に存在する 10 nm レベルの大きさの孔への接着剤の拡散、STEM-EELS で明らかになったアルミ酸化化合物と接着剤との化学的相互作用、さらには FEM 解析による孔の 3 次元構造の応力分布に対する影響などが考えられる。(d) に示した界面での化学結合や反応など分子レベルの現象はシミュレーションや和周波発生分光(SFG) によって検討されている。このような分子レベル(Å) からミリメートルに及ぶ界面現象に劣化・耐久性などの時間要素が加わる。本書においても、いくつかの事例がとりあげられている。私の知る限り、異なるスケールの時空間接着界面現象をまとめてとりあげた成書はこれまでにない。本分野に関わる第一人者の執筆者から最新の研究成果が盛り込まれていると思われる。

最後に、ご多忙の中、本書へのご執筆にご協力いただいた方々に御礼を申し上げると共に、本書が今後の研究の発展に役立つことを祈念いたします。

文 献

- 1) M.D. Banea, M. Rosioara, R.J.C. Carbas and L.F. Da Silva: Compos. Part B Eng., 151, 71 (2018).
- 2) H. Leidheiser and P.D. Deck: Science, 241, 1176 (1988).

この先をご覧いただくには、パスワードが必要です。

制限つきPDFで全ページをご覧いただけます。 (制限内容:閲覧期間の設定、コピーやプリントの禁止など)

・PDFの閲覧

「パスワード」と「専用のビューア」(無料)が必要です。 費用は一切かかりません。

・パスワード ※電子試読ページよりお申込みください https://www.nts-book.com/ntsの電子試読 ページ下部にお申込みフォームがあります。

右のQRコードからも 電子試読ページにアクセス いただけます。



・ビューアのダウンロード

PDFは、株式会社スカイコムの SkyPDF Viewer (無償のPDFビューア)をダウンロードしてご覧いただけます。

※Adobe Acrobat Readerなど他のPDF閲覧アプリケーションではご覧になれません。

SkyPDF Viewer 無償ダウンロード:

https://www.skycom.jp/free/



索引

	DIVIA 171, 179
英数	=動的粘弾性
	dry 処理 318
2 次接着法	D-SIMS 89
2 色成形	DX 化 289
3 次元 X 線イメージング法 301	=デジタルトランスフォーメーション化
3 点曲げ試験 181	EDX
AASS	EELS 20
= 酢酸塩水噴霧試験	EV 車 289
AFM-IR14	FE-SEM 294
AFM ナノメカニクス 9	Fick の拡散則 147
Al(OH) ₃ 24	FM モード11
AM モード10	=周波数変調モード
= 振幅変調モード	FSW
ASTM G71 159	FT-IR 83
ATR 法 85	grafting-from
Brønsted 塩基 ····· 54	grafting-to · · · · 233
CFL 条件 ····· 108	Guth-Gold 式 ·····15
CFRP 23, 283, 340	HAADF 20
CFRPP 181	HAADF-STEM ······76
CFRTP 357	hydrophobic recovery51
Clausius-mossotti · · · · 209	interphase ····· 3
CO ₂ 排出量の抑制 365	ISO / IEC 専門業務指針 ······ 128
CT 試験 23	ISO19095 ······220, 321, 328
=コンパクトテンション試験	ISO21746 ·
Cu	ISO9227 159
Cu ₂ O	ISO 標準化 ···········10
DFT 法 98	JIS T 0305 159
=密度汎関数	Kamal 則 ····· 110
DIC(Digital Image Correlation) 66	Lewis 塩基 ····· 54
DIC ひずみ分布解析	LIBS 371

NASA Technical Standard 6016 ····· 159	X 線源 302
NEDO プロジェクト	X 線コンピューテッド・トモグラフィー 30
NMT ·····21, 319	X 線マイクロ CT ······ 302
NSS 160	Z コントラスト ······76
= 中性塩水噴霧試験	γ - γ ν \uparrow + (Al ₂ O ₃)2
OH 伸縮 ···· 48	
open-faced 試験片 ····· 147	あ行
o-ニトロベンジルエステル ····· 277	
PMS 処理······ 333, 334	アイソタクチック 79
PUF 181	アウトプロセス塗装 36
=発泡フォーム	アクリル接着剤284, 28
RAS 法 84	アジド 23-
SEM(Scanning Electron Microscopy) ····· 66, 348	アゾベンゼン 225
SEM-DIC ······67	厚板理論 10.
SEM 観察 305	アミン系硬化剤 25
Si チップ	アルミ 22
Spectrum-Imaging · · · 20	アルミニウム合金 31,283,284
STEM 20, 320	アンカー8
STEM-EELS 5	アンカー効果 3, 21, 94, 210, 298, 325, 349, 37
Super Light Car project	アントラセン 228
S パラメータ 212	異材接合 10.
TAPO モデル 109	異材接着接合
TC61/SC11/WG5123	異時相関スペクトル 55
TIM 290	異種材接合
UV レーザー 210	異種材料
UV レオメータ	異種材料接合 217, 29
van der Waals 相互作用 ······97	異種材料接合技術 32
VOC 352	異種材料接着 246
=揮発性有機化合物	異種接合
WBL	異種部材接合 17
wet 処理 ···· 318	イソシアネート
Wiedemann-Franz 則 ····· 166	イソシアネート基 4
XPS	イミド環 90
XPS 深さ分析 22	インサート成形法
X 線 CT ····· 292, 301	インプロセス塗装 36
X 線吸収 302	薄板理論 10:
X 線吸収量 ····· 307	海島構造 190

埋もれた界面
ウレア結合 176
ウレタン系
ウレタン結合 49,176
ウレタン樹脂 286
ウレタン接着剤 52,284
運動量遷移 38
エアギャップ 290
永久双極子 59
液晶ポリマー 208
易剥離 269
エッチング
エッチング処理316,357
エナメル質 275
エネルギー解放率 108
エネルギー散逸11
エネルギー散逸効果 312
エネルギ解放率範囲 141
エポキシ
エポキシ高分子47
エポキシ樹脂 25, 68, 84, 97, 189, 244, 301
エポキシ樹脂 25, 68, 84, 97, 189, 244, 301 エポキシ樹脂系接着剤 201
エポキシ樹脂系接着剤 201
エポキシ樹脂系接着剤201エポキシ接着剤284,368
エポキシ樹脂系接着剤201エポキシ接着剤284,368エポキシネットワーク13
エポキシ樹脂系接着剤 201 エポキシ接着剤 284, 368 エポキシネットワーク 13 エポキシバルク硬化物 304
エポキシ樹脂系接着剤201エポキシ接着剤284, 368エポキシネットワーク13エポキシバルク硬化物304エポキシモノリス297
エポキシ樹脂系接着剤201エポキシ接着剤284, 368エポキシネットワーク13エポキシバルク硬化物304エポキシモノリス297エラストマー311
エポキシ樹脂系接着剤201エポキシ接着剤284, 368エポキシネットワーク13エポキシバルク硬化物304エポキシモノリス297エラストマー311エンジニアリングプラスチック305
エポキシ樹脂系接着剤201エポキシ接着剤284, 368エポキシネットワーク13エポキシバルク硬化物304エポキシモノリス297エラストマー311エンジニアリングプラスチック305塩素イオン157
エポキシ樹脂系接着剤201エポキシ接着剤284, 368エポキシネットワーク13エポキシバルク硬化物304エポキシモノリス297エラストマー311エンジニアリングプラスチック305塩素イオン157沿面255
エポキシ樹脂系接着剤201エポキシ接着剤284, 368エポキシネットワーク13エポキシバルク硬化物304エポキシモノリス297エラストマー311エンジニアリングプラスチック305塩素イオン157沿面255応力66, 282
エポキシ樹脂系接着剤201エポキシ接着剤284, 368エポキシネットワーク13エポキシバルク硬化物304エポキシモノリス297エラストマー311エンジニアリングプラスチック305塩素イオン157沿面255応力66, 282応力発光5, 129
エポキシ樹脂系接着剤201エポキシ接着剤284, 368エポキシネットワーク13エポキシバルク硬化物304エポキシモノリス297エラストマー311エンジニアリングプラスチック305塩素イオン157沿面255応力66, 282応力発光5, 129応力分散186

か行

カーボンナノチューブ	326
カーボンニュートラル	185
カーボンブラック	256
解体性接着剤 243, 2	287
ガイドライン	124
界面	65
界面間で剥離	311
界面形状	.94
界面電気抵抗	168
界面熱抵抗	169
界面破壊 5,	104
界面はく離	147
火炎処理	78
化学結合	29
化学的接着 ······	. 3
化学的相互作用	210
架橋	350
架橋樹脂	267
架橋樹脂の溶解性	269
架橋点	267
拡散係数	•41
拡散接着	. 3
下限界エネルギ解放率範囲	143
下限界の応力	141
重合せせん断強さ	328
可使時間	219
荷重比	140
化成処理	316
型式認証	161
活性シリル	233
カテコール	234
加熱 SEM-DIC ·····	69
加熱圧着	79
可燃性	219

カバーフィルム	空隙率	303
カバーレイフィルム	屈曲性	218
ガラス転移温度・・・・・・ 52, 214, 304	屈折率	62
ガラス転移点 ·················· 40, 354	グラフト密度	233
ガルバニック電流遮蔽能 161	繰り返し接着	233
ガルバニック腐食 155,286	グリシジルフタルイミド	248
カルボン酸塩 90	クレーズ	32
環境負荷	傾斜機能継手	178
環境負荷試験 328	傾斜材料	262
官能基	軽量化	281
官能基の配向	欠陥検査	371
機械的研磨 306	結合力モデル	105
機械的接合 210	検査技術	367
基材破壞 104	原子間力顕微鏡	9
基底関数	高温高湿	222
機能性付与 187	高温高湿試験	328
揮発性有機化合物 352	広角度環状暗視野走査透過電子顕微鏡	76
= Volatile Organic Compounds : VOC	硬化剤	58
キャス試験(CASS) 160	硬化促進剤	57
キャビティ	硬化反応	300
吸水率	高感度反射測定法	84
凝集破壊5, 104, 279, 310, 329	高強度	202
強靭化	高強度ウレタン系接着剤	176
強靭性	高強度化	311
凝着力ヒステリシス11	合金化した隆起微細構造	335
強度	高周波数化	207
強度設計	高周波誘導加熱	223
共有結合97	高周波誘導溶着	223
橋梁	孔食	157
共連続架橋体	剛性	282
共連続構造	剛性確保	178
共連続ネットワークポリマー 311	構造解析	130
極性官能基 84	構造材料用接着技術の開発	366
亀裂進展 108	高速通信	207
亀裂破壞	剛体	254
金属イオンの拡散 90	高耐久性	202
金属電極 66	高張力鋼	158

高熱伝導性 291	シクロオレフィンポリマー 208
高分子鎖77	シクロデキストリン 276
高分子電解質 235	ジクロロフェニルジメチル尿素 248
光量しきい値 293	ジシアンジアミド
国際会議 376	湿気硬化型286
固着時間 202	自動酸化反応
混合反応 336	自動車構造用 188
混合比率 178	シミュレーション 93
混合比を変える 178	射出接合 21, 315
混合モード 106	車体(の)軽量化・・・・・・・185,365
コンパクトテンション試験 23	周期加熱放射測温法 294
=CT 試験	重合誘起型相分離 300
コンプライアンス法 141	十字引張試験 135
	周波数変調モード1
さ 行	=FM モード
	ジュール熱 ······ 255
サーキュラーエコノミー 251	樹脂
細孔構造94	樹脂の劣化87
サイズ排除クロマトグラフィー測定 278	仕様 124
サイドエッチング	常温硬化 187
最表面の形態77	上限臨界相溶温度 … 238
材料破壊	消費電力
酢酸塩水噴霧試験 160	シランカップリング剤処理 307
= AASS	新構造材料技術研究組合(ISMA) 366
サブセット67	靭性
酸塩基反応57	伸長過程
酸化 88	振幅変調モード10
三次元再構成像 80	= AM モード
参照試験片 161	水酸基 58
散乱長 38	水素結合
散乱長密度 38	垂直ひずみ
残留応力 110, 286	隙間充填性205
残留ひずみ	スチーム処理27
シアノアクリレート系接着剤 201	ストライク Cu めっき 330
シェル要素 105	スピノーダル曲線 299
歯科用接着剤	スピノーダル分解過程 299
時間強度 141	スポット溶接 284

スマートフォン筐体 318	3 せん断過程	95
スミア 210) せん断接着力 2	21
スライドリングゲル 276	せん断ひずみ	67
スルホベタイン	3 せん断モード	.07
正極活物質 255	5 層間破壊靭性 3	57
脆弱層	3 増感剤2	.7C
静的破壊じん性値	双曲子-双曲子相互作用2	33
静電引力相互作用 233	3 双極子モーメント	53
生物の接着機能	9 象牙質	79
精密計測技術 296	6 相互拡散 11,	29
接合界面の観察 302	2 走查型電子顕微鏡2	78
接合技術	走查透過型電子顕微鏡	20
接合強度試験 305	5 相転移材料 2	25
接触界面	相分離構造	.79
接触電位差) 速硬化 2	219
接触熱抵抗	素材粗面化法 3	25
接触力学理論・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・) 粗視化モデル	94
切断エネルギー 98	3 塑性変形	311
接着 281, 284	その場観察	31
接着・接合技術コンソーシアム(T-CAB) ······· 296	5 ソフトセグメント ······ 1	176
接着界面	粗面化 Cu めっき膜	30
接着強度 75	5 粗面化 Ni めっき膜 ······ 3	26
接着後塗装 367	7 粗面化剤	26
接着剤層厚さ 140) 粗面化めっき法	25
接着剤フリー 355	5 ソリッド要素	.05
接着仕事61		
接着性モノマー 275	た 行	
接着接合 365		
接着接合界面	3 耐久性	67
接着体 75	5 耐久性予測 ······ 3	69
接着耐久性 180	耐湿性	.03
接着継手) 耐衝撃性	.03
接着プロジェクト 380) 耐食性試験法群 1	.63
接着メカニズム 77,367	7 耐水性評価	147
全原子モデル94	\$二世代アクリル接着剤2	85
穿孔197	7 耐熱性	.03
洗净処理 86	5 耐薬品性202, 2	.04

多孔構造 301	電気パルス 252
タック性	電子顕微鏡19
単純重ね合わせ継手	電子線トモグラフィー法 80
弹性散乱電子 20	電子デバイス
弹性接着剤	電蝕 103
弹性変形	電触
断層画像 301,308	伝送信号 207
炭素繊維	伝送損失 207
炭素繊維強化プラスチック 104,339	テントウムシ 261
単体分離	透過型電子顕微鏡 20
タンニン 388	同時相関スペクトル 53
タンパク	導体損失 207
断面二次モーメント 283	動的耐久性 179
中性塩水噴霧試験 160	動的粘弾性 141, 179
=NSS	= DMA
中性子反射率測定 238	動的パーコレーション
中性子反射率法37	導電性接着剤 127, 165
超音波解析画像 329	導電フィラー 165
超音波溶着	銅張積層板 208
長期絶縁信頼性213	投錨(アンカー)効果 320
長期耐久性	銅不活性化剤 89
超高張力鋼	動物の接着機構 260
直接接着	塗装後接着 367
貯蔵弾性率 304	トモグラフィー・・・・・ 22
通称バナナカーブ	トリプルアンカーサイト 328
データ駆動型研究開発 296	
データベース 124	な 行
テーパー型210	
低粗度銅箔 207	内視鏡的粘膜下層剥離術 196
低誘電性基材 207	内部応力
低誘電性接着フィルム	難接着材料 203
デジタルトランスフォーメーション化 289	二次元相関 52
= DX 1Ľ	二重片持ち梁
鉄イオン	日本規格協会グループ 128
鉄鋼 325	日本プラスチック工業連盟 124
電気化学的な研磨 306	熱応力
電気二重層57	

熱界面材料(Thermal Interface Materials:TIM)	破壊じん性値	132
	白色干渉型レーザー変位計	293
熱拡散率	剥離	71
熱可塑樹脂 244	剥離強度	347
熱可塑性樹脂 306, 325	剥離試験	78
熱可塑性接着フィルム 217	剥離面	79
熱可塑性のフィルム型接着剤 222	剥離モード	107
熱硬化性接着剤 110	曝露	197
熱衝撃試験	破断強度	304
熱抵抗 290	破断伸び	304
熱伝導性 290	破断面	305
熱物性計測技術 294	白金レプリカ膜	81
熱変形	発生生物学的バイオミメティクス	264
熱変形差の緩和 178	ハットビーム	181
熱膨張差 286	発熱的相互作用	28
熱膨張マイクロカプセル 244	発泡フォーム	181
熱膨張率67	=PUF	
熱マネジメント技術 289	ばね要素	105
熱力学的加速12	パリス則	143
粘着性 269	バルク試験	126
ノッチ	パルス NMR	177
	パワーデバイス・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	65
は行	汎関数	98
	反射干涉分光法	37
ハードセグメント	はんだ	68
パーフルオロアルコキシアルカン 208	はんだ耐熱性	214
バイオベース	半導体	289
バイオミメティクス 259, 263	ピール強度	285
配向分極 59	光重合開始剤	291
ハイテン材	光電子放出	58
バイノーダル曲線	光分解	268
ハイブリッド構造用接着剤 201, 202	光分解性架橋剤	26
バインダー 290	光分解性リンカー	277
破壊機構	光ラジカル重合	27
破壊起点131	比強度	283
破壞形態142	比剛性	283
破壊じん性	微細孔	316

非晶質化 52	複合めっき	376
ひずみ	フッ素樹脂345,3	
ひずみ速度依存性 109	物理的相互作用	
微繊維	不動態層	
非線形分光法	不働態皮膜	
非弾性散乱電子	プライマー・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
被着体界面	フラクトグラフィー	
引張せん断試験 305	プラズマ	
引張りせん断接着強度	プラズマ照射	
引張せん断接着強さ	プラズマ処理 78, 345, 3	
ヒドロキシアパタイト 275	プラネタリーバウンダリー	
ヒドロペルオキシド	フリーズ・レプリカ	
非破壞検査法 371	フリーズレプリカ法	29
非破壞分析	ブリードアウト	290
標準生成エンタルピー 156	フレーム処理	52
標準生成エントロピー156	フレキシブルプリント基板	207
標準生成ギブスエネルギー 156	プロジェクション溶接	284
表面粗さ293,348	プロジェクトリーダー	127
表面エネルギー346	分極	158
表面開始原子移動ラジカル重合 233	吻合部	193
表面開始剤	分散状態	292
表面改質 345	分散力	62
表面硬さ 348	分子鎖引き抜き	29
表面グラフト 233	分子動力学	.94
表面検査 371	分子動力学シミュレーション	114
表面自由エネルギー 307	分泌液	262
表面処理 77, 310, 345, 367, 368	ペースト化	337
表面レプリカ法 75	ベーマイト (AIO(OH)) ······· 23,	24
表面レプリカ膜76	平衡電位 1	158
微量元素 162	変位	.67
疲労挙動	変形追従性	187
疲労き裂進展挙動 144	変成シリコーン樹脂	185
フィラー 291	変性シリコーン接着剤	368
フィラーネットワーク16	偏析	114
フィルム接着剤 ······ 217	膨張黒鉛	247
フォースカーブ9	放熱材料 2	291
複合材料 75	放熱接着剤	290

補強効果16	マルチリング溶接 284
ポジティブアンカー効果334	ミクロ相分離 299
ボス・リブ 323	密度汎関数法 98
ホスホン酸基 26	=DFT 法
ホットメルト 217	無水マレイン酸変性 79
ホットメルトフィルム 221	メカニカルファスナー 284
ポリアクリル酸330	面内分布把握 · · · · 293
ポリアニオン 235	モード 106
ポリイミド 89, 208	モールド
ポリウレタン 389	モディファイドポリイミド 208
ポリウレタン(系)接着剤 175,368	モノリス
ポリエステル・・・・・・ 276	モノリス細孔 306
ポリエチレングリコール 276	
ポリエチレンテレフタレート 305	や 行
ポリカーボネート 276, 305	
ポリカチオン 235	ヤモリ
ポリテトラフルオロエチレン 208	ヤング率
ポリフェニレンサルファイド 328	有限要素解析 103
ポリプロピレン 29,50,77	有限要素法
ポリマー材料 75	有効体積分率15
ポリマーブラシ233	融点
ポリマーモノリス	誘電正接 208
ポリロタキサン 276	誘電損失 207
ホルムアルデヒド	誘電特性
ポロゲン	誘電率 208
ボンディングシート	癒着
	油面接着性 285
ま行	陽解法
	陽極酸化処理
マイグレーション試験	
マイクロストリップライン 212	ら 行
マイクロ波誘電加熱装置	
マグネシウム合金283	ラジカル
マテリアルミックス	ラジカル連鎖機構 88
マルチスケール・・・・・・・・・・93	リグニン
マルチマテリアル化 155, 175, 189, 297, 315, 325	離型剤 62
マルチマテリアル構造3,281,365	離型フィルム 211

リサイクル	267, 287	連続体モデル		10
リサイクル性	223	漏出		19
離散要素法	253	ロータリー・シャド	ウイング	7
リビングラジカル重合	227	ローレンツ力		25
リペア性	224			
隆起した微細構造	333		わ行	
リワーク	243			
レーザー加工性	210	和周波発生		4
レーザー超音波法	371	和周波発生分光		5, 5
レーザクラッディング工法	335	和周波分析法		37

接着界面解析と次世代接着接合技術

発 行 日 2022 年 10 月 16 日 初版第一刷発行

監修者 堀内 伸

発行者 吉田隆

発 行 所 株式会社エヌ・ティー・エス

〒 102-0091 東京都千代田区北の丸公園 2-1 科学技術館 2 階 TEL.03-5224-5430 http://www.nts-book.co.jp

印刷・製本 藤原印刷株式会社

ISBN978-4-86043-796-1

◎ 2022 堀内伸,他

落丁・乱丁本はお取り替えいたします。無断複写・転写を禁じます。定価はケースに表示しております。本書の内容に関し追加・訂正情報が生じた場合は、㈱エヌ・ティー・エスホームページにて掲載いたします。

*ホームページを閲覧する環境のない方は、当社営業部(03-5224-5430)へお問い合わせください。

NTS②本	関連図書

	1		
図書名	発刊年	体 裁	定価(10%税込)
1 先端の分析法 第2版	2022年	B5 1072頁	75,900円
2 フレッティング摩耗・疲労・損傷と対策技術大系 事故から学ぶ壊れない製品設計	2022年	B5 332頁	55,000円
3 データ駆動型材料開発 オントロジーとマイニング、計測と実験装置の自動制御	2021年	B5 290頁	57,200円
4 セルロースナノファイバー 研究と実用化の最前線	2021年	B5 896頁	69,300円
5 分散系のレオロジー 基礎・評価・制御、応用	2021年	B5 436頁	59,400円
6 マテリアルズ・インフォマティクス開発事例最前線	2021年	B5 322頁	55,000円
7 3Dプリンタ用新規材料開発	2021年	B5 380頁	49,500円
8 新訂三版 最新吸着技術便覧 プロセス・材料・設計	2020年	B5 856頁	71,500円
9 実践 エマルション安定化・評価技術	2020年	B5 248頁	39,600円
プロ ポリマーの強靱化技術最前線 破壊機構、分子結合制御、しなやかタフボリマーの開発	2020年	B5 318頁	49,500円
11 ポストグラフェン材料の創製と用途開発最前線 二次元ナノシートの物性評価、構造解析、合成、成膜プロセス技術、応用展開	2020年	B5 448頁	59,400円
12 グラフェンから広がる二次元物質の新技術と応用 世界の動向、CVD合成、転写積層、量子物性、センサー・デバイス、THz応用	2020年	B5 558頁	59,400円
13 2020版 薄膜作製応用ハンドブック	2020年	B5 1570頁	75,900円
14 表面・界面技術ハンドブック 材料創製・分析・評価の最新技術から先端産業への適用、環境配慮まで	2016年	B5 858頁	63,800円
15 最新 実用真空技術総覧	2019年	B5 1096頁	63,800円
16 次世代パワー半導体の開発・評価と実用化	2022年	B5 414頁	59,400円
17 自動車のマルチマテリアル戦略 材料別戦略から異材接合、成形加工、表面処理技術まで	2017年	B5 384頁	49,500円
18 翻訳 マテリアルズインフォマティクス 探索と設計	2017年	B5 312頁	40,700円
19 マイクロ・ナノ熱工学の進展	2021年	B5 808頁	71,500円
20 バイオマス由来の高機能材料 セルロース、ヘミセルロース、セルロースナノファイバー、リグニン、キチン・キトサン、炭素系材料	2016年	B5 312頁	49,500円
21 量子センシングハンドブック 量子科学が切り拓く新たな領域	2021年	B5 364頁	44,000円
22 接着工学 接着剤の基礎、機械的特性、応用	2008年	B5 488頁	46,640円
	•		