「レビュー・トピックス」特集

接着と界面の科学

中 前 勝 彦

1. はじめに

科学技術の進歩に伴って、材料に要求される性能は益々厳しくなり、単一素材ではこれらの要求を満たすことが困難となってきている。この問題を解決する1つの方法として、従来の素材の特長を生かしつつ組合せ接着することによる複合材料の開発があげられる。工業材料として複合材料をみると、その機能発現に最も重要な働きをしているものが接着剤であるといえる。今日では、強靱な接着剤は宇宙、航空、自動車その他産業の広い分野において金属、非金属構造材料、有機、無機、繊維、プラスチック、ゴムなどの接着に応用され、又、新しい機能性複合材料を生み出しているが、接着剤は既に紀元前何千年も前から使用されている。

接着剤の利用は単に溶接、リベット、ボルト接合に比較して重量軽減のみならず、両者が面接合することに基づく複合効果が特徴である。牧島は複合材料の界面の効果を次の4つに分けている¹⁾。①分割効果；多領域に分割されることにより生ずる応力集中の回避、破壊進行の中断等。②不連続効果；界面で起こる物性の不連続性、界面摩擦で生ずる現象。③散乱と吸収効果；光波、音波、熱弾性波、衝撃波などの界面による散乱と吸収等。④誘起効果；界面において特に誘発されるひずみ、内部応力およびそれに基づく現象等。このように界面の機能が包括的に整理されている。特に二相界面の構造については、ポリマーアロイについては熱力学的な観点からの相分離現象としての研究が数多く発表されている²⁾。しかし、接着界面の効果を考えると二相界面での相互作用、いいかえれば、充填剤(あるいは材)とマトリックス間での相互作用を原子・分子レベルで考察することが必要である。接着・複合化とは充填剤(材)とマトリックス

間の接着であり、接着の基本は被着体表面への高分子のぬれ、いいかえれば吸着ともいえる。

近年、数多くの新しい表面分析機器が開発されるにつれて、LSI 封止剤の界面における残留応力の問題³⁾、プラスチックメタライジングにおける金属-プラスチック間の相互作用に関する問題⁴⁾、エポキシ系接着剤の残留応力に関する問題⁵⁾、などが多方面から研究されている。しかしながら、表面分析と異なり、界面分析は機器による非破壊検査からは非常に困難であり必ずしも明らかにされているとはいえない。ここでは、いくつかの接着の関与する複合材料の界面の解析例について述べる。

2. 接着とは…その特徴

接着とは「同種または異種物質の接触面が接着剤によって結合すること」と定義されている。

図1には接着機構のモデルを示す。Aは接着体の凝集力、Bは被着体-接着剤間の相互作用、Cは接着剤の凝集力を表す。破壊は最も弱い部分から起きるので、接着の立場からいえば、 $A < B < C$ となることが望ましい。A

図1 接着機構のモデル図

Some Aspect of Adhesion and its Interface

筆者紹介 KATSUHIKO NAKAMAE

Department of Industrial Chemistry, Kobe University

神戸大学工学部工業化学科 教授、工学博士

筆者は、高分子化学、高分子界面化学が専門で、高分子バインダーと磁性粒子の分散に関する研究、高分子の界面化学的研究で昭和63年繊維学会賞を受賞。趣味はハム、車。本稿では分子レベルから接着剤と被着体の界面に働く相互作用の定量化を中心に総説していただいた。

で破壊するのを材料破壊といい、Bで破壊すれば界面破壊、Cで破壊すれば凝集破壊という。接着強さとは接着結合したものの破壊の強さであり、接着剤と被着体の間の界面の相互作用の強さだけでなく、被着体と接着剤自身の凝集力などの力学的性質、他多くの因子が働いている。一般に被着体表面には、平滑表面といわれても数100Åの凹凸がある。接着剤の役割は、まずこのギャップを埋め、かつ被着体表面をかんぜんにぬらし、この表面の極性基と接着剤自身の有する極性基の間で、たとえば、化学反応、水素結合などの相互作用を強く働かせることである^{3,4,5,)}。

このために、①まず接着剤は液体として流動しなければならず、②細かい間隙きに流れ込まねばならず、③そのためには被着体をよくぬらし、最終的には固化し、強靱な相を形成しなければならない。この固化に伴う体積収縮が高強度構造接着剤において重要な問題となっている⁶⁾。このように、接着剤は必ず一度流動状態を経ている。たとえば、瞬間接着剤、ホットメルト接着剤などは液体としての低い表面張力、被着体をよくぬらすことがその特長の1つである。接着界面において働く力は基本的には分散力、極性力、水素結合力、イオン結合力、共有結合である。

次に、現在工業用途に接着剤が広く用いられるようになった理由としては、次のような点があげられる。

①接着剤の性能向上により、リベット、ボルト結合の代替としての機能が認められた。②応力分散により疲労強度が向上する⁷⁾。③省エネルギー、④接着に関連する技術の自動化が可能になった。例えば、接着剤の自動塗布、精密塗布、接着工程のシステム化など多くの特長があげられる。

接着剤は、その使用目的により種々の観点から分類で

図2 MW・RFにプラズマによる表面親性化

Surface tension and ratio of γ^p/γ^d of PET film treated with O_2 plasma; RF plasma (13.56 MHz, 100W, 2 min., 0.1 torr.), MW plasma (2.45 GHz, 1.5 kW, 10 sec., 0.5 torr.)

図3 プラズマ処理時間と接着性

Effect of plasma treatment on peel strength with rubber and PET fabric; RF plasma (13.56 MHz, 200W, O_2 , 1.0 torr.), MW plasma (2.45 GHz, 1.5 kW, O_2 , 0.5 torr.)

きるが、ここでは、機能、用途上から次のように分類し、する。

- A 構造用としての高強度接着剤
- B 耐熱性接着剤 C 弾性接着剤
- D 油面接着剤(SGA) E 嫌気性接着剤
- F 瞬間接着剤 G その他

接着性の評価は一般に接着面の剥離力、あるいは剪断応力から行われるがこれは破壊に対する応力であって、接着界面の相互作用を評価していることには必ずしもならない。高分子/高分子間における相互作用を定量的に扱った報告は必ずしも多くはない。

3. 接着剤の内部ひずみと残留応力

接着強さは接着剤の凝固・固化にともなう体積収縮のために大幅に低下することは広く知られている⁵⁾。接着の理論^{3,4)}、実際研究⁵⁾は数多くあり、とても全てをまとめることはできない。その多くは「ぬれ」、「相互拡散」、「共有結合」などから考察されているが、Van der Waals 力、水素結合力、アンカー効果等全てが関与しているものであり、これら全てを総合した検討はあまりなく、多くは各々のパラメーターを単独にとり扱ったものが多い。

特にエポキシ樹脂の化学構造と収縮挙動に関しては新保、越智らの一連の研究がある^{6,8)}。LSI 封止剤においても残留応力は重要な問題であり、相分離構造とその界面構造の制御といった観点から、多くの人々によって研究されている⁷⁾。

接着の硬化時における収縮を防ぐ興味のある方法は遠藤らによる非収縮性モノマーの利用である。表1にはエポキシ樹脂(#828)をスピロ樹脂と混合し酸無水物で硬化させた時の内部ひずみと剪断強さとの関係である。エ

表1 スピロオルソエステル変性系の諸性質と内部応力(実測値, 計算値)

TABLE Estimation of internal stress generated in cured epoxide resins

SOE/BADGE ratio	T_g (°C)	Network chain concentration, v (mol cm ⁻³) $\times 10^3$	Shrinkage in glassy region (%)	Internal stress σ_i (MPa)	σ_{calc}^* (MPa)	σ_{calc}/σ_i
100/0	58	1.75	0.9	0.9	4.5	
75/25	68	1.94	1.3	2.3	8.3	
50/50	96	2.18	2.5	4.0	16.0	3.75 $\pm$ 1.35
25/75	111	2.32	2.8	5.3	13.7	
0/100	134	2.67	3.7	6.8	21.0	

スピロオルソエステル

ポキシ樹脂の場合, 内部ひずみによる応力は60kg/cm²であるのに対してスピロ樹脂のそれは約5kg/cm²にすぎない。一応, 剪断強さは若干低下するが, 剥離強度は3~4倍となる^{8,9)}。

4. 高分子の表面処理と接着性

ポリテトラフルオロエチレン(PTFE), ポリエチレン(PE)をはじめとする各種不活性表面を有する高分子の接着, 印刷は既に古くから, コロナ処理に始まる各種表面活性化方法が試みられている^{10,11,12)}。特にプラズマ

表2(a) プラズマ種とせん断強度

プラズマ種	せん断強度 (N/mm ²)	プラズマ種	せん断強度 (N/mm ²)
未処理	54	CO ₂	64.8
空気	67.5	SO ₂	65.6
酸素	66.9	NO	63.5
窒素	66.8	アルゴン	62.7

樹脂: エポキシ A(エポキシ+酸無水物)

表2(b) プラズマ処理 Kevlar-49/樹脂コンポジットの接着性¹³⁰⁾

プラズマ条件			ショートビーム強力 (psi)		せん断強力 向上率(%)
ガス*	出力	時間	処理	未処理	
N ₂	65	10	5,200	4,105	26.7
N ₂	70	5	4,805	3,525	36.3
He	75	35	5,570	4,460	24.9
He	75	35	5,610	4,870	15.2

* 50 cc/min. 1.1 mmHg.

処理は表面のみを選択的に処理でき, 固体としての性質を変化させないことから接着性, 印刷性の改良に既に利用されているが, 表面の親水性化としては水滴の接触角の低下から明らかであるが, 微量処理の場合は ESCA, FT-IR のみでは定量はかなり困難である。

高田らは¹²⁾低温プラズマ処理においてマイクロ波(MW 2.45 GHz)とラジオ波(RF 13.56 GHz)の周波数の違いによる接着性へ与える効果の違いを明らかにしている。図2, 3には, 表面エネルギーとピール強度に及ぼす MW と RF の違いを示した。これらの結果から高田らは, RF 低温プラズマはエッチングと化学変化であり, MW 低温プラズマは化学変化が主体であると考えられる。

ビニルアルコール-エチレン共重合体表面の OH 基を利用した Schiff 塩基形成反応を利用した残りの結果を図4に示す¹³⁾。表面にウレタン化によるアミノ基が導入されるにつれて, グルタルアルデヒドを含むゼラチンとの間で Schiff 塩基を形成することにより, 接着力が発生することがわかる。図5, 6にはわれわれのエチレン-ビニルアルコール(EVA)共重合体表面の OH 基の表面密度と水素結合を主な相互作用とする接着の例を示す¹⁴⁾。接着剤としては24 mol%の OH 基を残存させたポリビニルブチラールを用い PE からポリビニルアルコール(PVA)までの異なる組成の EVA を接着した場合, 図5の如く接着力は EVA の OH 基含有量に比例するのではなく, 図6に示すように, 接触角測定から求められた表面極性基密度を表す γ_s^p に対応していることが明らかである。またこれは, ESCA による OH 基の分析結果からも支持されている。このように弱接着性の場合には, 剥離することができ, かつ剥離後の両界面を

図4 表面にアミノ基をもつフィルム同志をグルタルアルデヒド含有ゼラチン水溶液で接着したときの剥離強度 (○: 湿潤剥離強度, ●: 乾燥剥離強度)

図5 VA含有量とはく離力の関係
接着剤, PVB (25wt% ベンゼン溶液); 被着体, EVA films.

図6 表面張力の水素結合成分とはく離力
接着剤 PVB (25wt% ベンゼン溶液) 被着体, EVA フィルム

ESCA, FT-IR で観察することができるために界面構造の研究を行うことができた。一方エポキシ樹脂系接着剤では剥離を行うことが困難で、界面化学的な相互作用に関する研究は大変に難しいが、Vernables¹⁵⁾ らや、Watts¹⁶⁾ は ESCA, ESEM を用いたモルフォロジカルな研究と Al 被着体表面の化学変化についてのべている。

5. 金属-プラスチック

プラスチックメタライジングは単にプラスチックの表面を装飾するのみでなく、フレキシブルプリント基板 (FPC), 磁気記録媒体, 包装, 電子材料と多方面への応用が期待されている。これらのいずれの分野においても、金属-プラスチック間の接着力向上は最も重要な問題であり、多くの研究がなされている^{17,18)}。ここでは、真空蒸着, イオンプレーティングにおける界面相互作用に関する研究例のいくつかについて述べる。

5.1 湿式メッキ法

これはポリマーの表面をクロム酸混液などでエッチングして表面を粗面化し、メッキする金属の接着性を強固にするものである。そのために対象ポリマーによって粗面化の方法が異なる。

図7 には ABS 樹脂のメッキ断面図である。黒いメッキ相と表面エッチングによる物理的アンカー効果を発揮させる構造が認められる¹⁸⁾。メッキグレードタイプと称して多種類の添加剤と海島構造に基づくアンカー効果を期待する基板作りがなされている。ABS 樹脂はポリブタジエンのゴム成分の分離相とポリスチレン・アクリロニトリルの高い Tg のマトリクス相からなり、その優れた耐衝撃性と優れたメッキ特性から自動車, 家電製品のみならず広く使用されている。そのメッキプロセスを示すと次のとおりである¹¹⁾。

脱脂→エッチング処理→酸処理→キャタライザー処理
→アクセレータ処理→化学メッキ→電気メッキ

黒部分: メッキ相
●: メッキ相
(ゴムの溶出あと)
○: 分散ゴム粒子

図7 メッキされた ABS 樹脂の断面写真¹⁸⁾

図8 ABS樹脂のエッチングによる構造変化

図9 種々のポリマーの表面エネルギーの成分と接着性との関係

Relation between the tensile strength and the component of surface free energy of various substrates.

●: Dispersion component,

○: Polar component.

1: PTEE, 2: PP, 3: PE, 4: PS, 5: PET, 6: P (VC-VAC-VA), 7: PVB, 8: PVA.

この中で表面構造を決定するのはエッチング処理である。このエッチング剤はクロム酸と H_2SO_4 の組合せが用いられている。例えば、ハイサルファタイプと呼ばれる H_2SO_4 60 vol%, CrO_3 飽和液とハイクロムタイプと呼ばれる H_2SO_4 20%, CrO_3 400g/l の2種類がある。この作用は CrO_3 と H_2SO_4 による酸素がABS中のゴム成分を酸化、溶解して図7の様な穴を形成するとされている¹⁸⁾。しかしながら、これらの反応はエッチングによる穴形成のみでなく、同時にスチレン-アクリロニトリル共重合体(PAS)成分も酸化反応を受け、表面に各種の酸素含有官能基が形成される。図8にはABS樹脂のエ

ッチングによる化学構造の変化を示す。ハイサルファタイプでエッチングすると $3600\sim 2600\text{cm}^{-1}$ 1700cm^{-1} 付近の吸収の増加が認められ、ゴム相が酸化されていることがわかる。一方、ハイクロムタイプはニトリル基に基づく 2200cm^{-1} 付近、St の 700cm^{-1} 付近の吸収帯が減少し、 $3600\sim 2800\text{cm}^{-1}$ と $1700\sim 1600\text{cm}^{-1}$ 付近の幅広い吸収帯が現れることから、ゴム相のみならずPASのマトリクス相も酸化を受けていることがわかる^{11,19)}。松永ら²⁰⁾もエッチング液中の H_2SO_4 濃度がポリマー表面構造とメッキ密着性に大きな影響を与えることを指摘している。すなわち、 H_2SO_4 は高すぎても低すぎても表面が平滑になりメッキの密着性が低くなる。しかし、この密着性はアンカー効果のみでなく、積極的に表面に COOH 基、ニトロ基、アミノ基、ジアゾ基などの官能基導入により、密着性が大幅に向上することも報告されている²¹⁾。

5.2 乾式法としてのプラスチックメタライジングの界面

乾式法としては真空蒸着、スパッタリング、イオンレーティング等がある。金属薄膜作製技術の1つである真空蒸着法は作製が容易である反面、接着力に乏しいという特徴を有している。そのために、いかに接着力を向上させるかが真空蒸着法の重要な課題である。一般的には、金属は非常に極性であるから、極性の高いポリマーは接着性が高いとされていたが定量的な結果はほとんど報告されていなかった。われわれは各種高分子の表面エネルギーを液滴の接触角から算出し、図9に示したように、抵抗加熱蒸着金属薄膜の接着性との関係を明らかにした。図の如く、固体表面エネルギーの増加につれて接着力が向上しており、水素結合、極性力結合に基づく結合が接着力の源であることがわかる^{22,23,24)}。

更に、PETは難接着性であり、未処理PETフィルム上では非常に弱い接着力しか得られないが、表面処理と

図10(a) カセイソーダによる処理時間と接着性の関係
(a) Effect of the surface treatment of PET with 6N-NaOH aqueous solution on the tensile strength.

図10(b) カセイソーダ処理による表面エネルギーの成分と接着性の関係

(b) Relation between the tensile strength and the component of surface free energy of NaOH-treated PET films.

●: Dispersion component, (γ_s^d)

○: Polar component, (γ_s^p)

してのカセイソーダ処理により、図10(a)の如く接着力は著しく改良される。これは図10(b)に示す如く PET フィルム表面の加水分解反応により極性官能基(—OH, —COOH 等)が生成したためであることが、FT-IR 及び γ_s^p の増大から明らかにされている²¹⁾。処理時間に依存するのではなく、表面に生成する極性基量に基づく γ_s^p の増大が接着力を制御していることがわかる。

相互作用の化学的な変化を Chou らはポリイミド(PI)

図11 ポリイミドとCrとの相互作用の様子²⁵⁾

図12 真空蒸着時における基板温度と接着剤の関係
Effect of the temperature of substrate on the 90° peel strength at the metal thin film/polymer interface.
○: Co/PET, ●: Fe/PI, △: Co/PSF, ▲: Co/PES, □: Co/PEEK, ■: Co/PBT

とCrの系について ESCA スペクトル分析から明らかにしている²⁵⁾。PI の上にCrを蒸着するにつれてC=Oに由来するスペクトル強度がCr蒸着層の厚さの増大につれ、他のPIからのスペクトルと異なり、急激に低下していることから、図11のようにCrとイミド分子中のC=Oとの間で強い相互作用が働いていることがわかる。もし、両者の界面が平滑で、かつ化学結合が生成しておれば接着力は $7 \times 10^3 \text{ Kg/cm}^2$ から $\sim 10^5 \text{ Kg/cm}^2$ にまでなるであろうと Chou らは報告している²⁵⁾。しかし、現実にはそれ程大きな接着力は得られていない。

一つの試みとして、基板温度を上昇させることにより、界面の接着力と結晶成長の挙動を変えて接着力を向上させる方法がある。図12に例を示す。ポリマーによりガラス転移点 T_g は異なるが、蒸着金属の剥離強さは大きく T_g に依存していることがわかる²⁶⁾。

接着力を向上させる方法としては、基板の表面処理と金属蒸気の持つエネルギーの向上の2つが考えられる。特にイオンプレーティング法では、金属蒸気をプラズマ化し、プラズマ中に発生した金属陽イオンと基板に与え

図13 イオンプレーティングと真空蒸着界面の剥離後の ESCA スペクトル

ESCA spectra. (a) raw PET film, (b) PET film surface of peeled interface. (c) Cobalt layer surface of peeled interface, and (d) Ar^+ etched cobalt surface. [A]: Cobalt ion-plated PET film, [B]: Cobalt vacuum deposited PET film.

Schematic diagram of the ion plating process

図14 イオンプレーティング界面における Co 酸化層とコンプレックスモデル図

た負電荷とを利用して運動エネルギーを高め、真空蒸着法に比べて高い数10eV から数100eV²⁷⁾というエネルギーを持たせることにより高接着力を期待される。PET- Co のイオンプレーティング界面の ESCA による分析から、図13のような結果が得られ、Chou らと同様、われわれも、図14のようなコンプレックスが生成していることを明らかにした^{28,29)}。石谷らも PET-Pd スパッタ膜の界面における Pd の酸化と PET の劣化を含む界面層の存在を ESCA より指摘している³⁰⁾。

6. 繊維強化複合材料の界面

複合材料といえばガラス繊維強化複合材(FRP)、アラミド、カーボン繊維強化複合材料と近年著しい発展をとげてきた。ガラス繊維強化に始まる接着界面の重要さは多くの研究者が言及している。石田は複合材料特性の科学的設計法として「界面領域工学」なる概念を提出している³¹⁾。界面構造の制御としてはシラン処理剤はあまりに有名である³¹⁾。

6.1 アラミド繊維-エポキシ複合材料の界面接着力

図15に示したように Kevlar 49/エポキシ複合材料は引張り応力では高い応力まで直線的に変形するが圧縮応力に関しては低い応力で坐屈してしまう³²⁾。これは繊維-マトリックス間の界面接着力が弱いからといわれている³²⁾がアラミド繊維自身の特徴ともいえる^{34,35)}。アラミド繊維の表面処理は有用な方法であり、表2に示した如く界面接着力を増大させている³⁶⁾。

図15 UD 複合材料のS-S挙動³²⁾ 図16 炭素繊維表面のO_{1s}/C_{1s}比とILSSの関係

●, ■; 真空加熱処理

UT: 未処理系, ST: 表面処理系

6.2 CFRPの界面

カーボンファイバー(CF)の表面処理は一般には酸化処理であり, based-edge に酸素官能基が結合したものと考えられる³⁷⁾。図16にはCFRPのILSSとCF表面の酸素濃度の関係を示したものである。表面酸素濃度が增大するにつれて, せん断強度が向上している。黒鉛系では真空熱処理でもILSSが向上していることは, 化学結合以外の力も働いていることを示している。HNO₃酸化処理でILSSが著しく増大し, ジアゾメタン処理において, ILSSは減少することから, CF表面では化学結合力が顕著な働きをしていることがわかる³⁸⁾。

7. おわりに

以上述べてきたように接着界面構造は, FRP, CFRP, プラスチックメタライジングいずれも, 非常に複雑であり, 物理的, 化学的要因を分割して議論することが非常に難しい。しかしながら, 接着の界面を考えると, 高分子マトリックスと, 固体表面に働く化学的, 物理的要因を分けて定量的に議論できる方法を工夫しなければならない。

接着の関与する分野は多岐にわたるためと, 限られた著者と興味のある知識のためにおおざっぱな, 片寄った内容になったことをおわびします。

文 献

- 1) 牧島象二, 複合材料シンポジウム特別講演資料1 (1968)
- 2) 高分子学会編「ポリマーアロイ」東京化学同人 (1981)
- 3) 黄 慶雲: “接着の化学と実際” (高分子刊行会 1981)
- 4) 井本 稔: 接着の化学; 岩波新書 (1967)
- 5) 芝崎一郎: 接着百科(上, 下)高分子刊行会 (1975)
- 6) 例えば, 越智光一: 日本接着協会誌 25, 372 (1989)
- 7) 例えば, 中村吉伸, ら: 日本接着協会誌 24, 186, 227, 272 (1988)
- 8) H. Shimbo, M. Ochi, T. Inamur and M. Inoue: *J. Mater. Sci.*, **20**, 2965 (1985)
- 9) 井本 稔: 高性能構造用接着材料の開発に関する調査研究報告書 P 31 (大阪科学技術センター昭和60年)
- 10) 筏 義人編「高分子表面の基礎と応用」上, 下 (化学同人)
- 11) 井手文雄「高分子表面改質」(近代編集社)
- 12) 高田忠彦, 古川雅嗣: 日本接着学会誌, **26**, 135 (1990)
- 13) 威 文叔, S. V. Lonika, 玉田 靖, 筏 義人: 日本化学会誌, 1324 (1985)
- 14) 中前勝彦, 宮田照久, 山下晋三, 松本恒隆: 高分子論文集, **40**, 65 (1983)
- 15) J. D. Vernables; *J. Mat. Sci.*, **19**, 2431 (1984)
- 16) J. F. Watts; *J. Mat. Sci.*, **19**, 2259, 3459 (1984)
- 17) “Metallized Plastics 1”, K. L. Mittal Ed (Plenum Press 1989)
- 18) 井手文雄: 表面, **20**, 102 (1982)
- 19) 本間英夫, 中村 実, 金属表面技術: **20**, 329

- (1969)
- 20) 松永正久, 萩生田善明, 伊藤 候: 金属表面技術 19, 223 (1968)
- 21) A. Rantell: *Trans. Mat. Finish*, **47**, 197 (1969)
- 22) 角谷賢二, 井 俊明, 中前勝彦, 松本恒隆: 日本接着協会誌, **18**, 345 (1982)
- 23) 中前勝彦, 山口勝也, 松本恒隆: 日本接着協会誌: **22**, 299 (1986)
- 24) *ibid.*, **22**, 347 (1986)
- 25) N. J. Chou, D. W. Dong, I. Kim and A. C. Lin: *J. Electro. Soc.*, **131**, 2335 (1984)
- 26) 谷川 聡, 井元義典, 東 賢一, 中前勝彦, 松本恒隆: 日本接着学会誌, **26**, 14 (1990)
- 27) 村山洋一, 柏木邦宏, 表面, **19**, 604 (1981)
- 28) 角谷賢二, 宮田照久, 山口勝也, 渡谷誠治, 宮田一司, 中前勝彦, 松本恒隆: 日本化学学会誌, No 6, 1317 (1985)
- 29) K. Nakamae, S. Tanigawa, and T. Matsumoto: "Metalized Plastics 1" Ed K. L. Mittal, (Plenum Publishing Co. 1989)
- 30) F. Soeda, K. Hyashi and A. Ishitani: *J. Electr. Spectrosc. and Related Phenom.* **27**, 205 (1982)
- 31) 石田初男: 繊維学会誌, **44**, P-56 (1988)
- 32) 例えば, 青木旬次郎, 監修 "割賦リング材の最適利用技術", 化学技術総合研究所 (1988)
- 33) 筏 義人編「高分子表面の基礎と応用」p-114 (1986)
- 34) 乗田敏毅, 高分子学会主催, 第三回高分子表面研究会講演会要旨集 p-1 (1987)
- 35) 高田忠彦: 繊維学会誌, **44**, p-67 (1988)
- 36) 高田忠彦: 複合材料と界面科学 p-162 (材料技術研究会編1986)
- 37) 中谷宗嗣, 中尾富士夫: 繊維学会誌, **44**, p-61 (1988)
- 38) E. Fitzer and H. Jager: *Z. Werkstofftech.*, **16**, 215 (1985)

(平成2年8月18日受理)

90/4 高分子可能性講座

主題=高分子による地球環境問題への挑戦

主催: 高分子学会 行事委員会

協賛: 繊維学会ほか

日時: 1990年11月21日(水)~22日(木)

会場: ダイヤモンドホール

(東京都千代田区霞ヶ関1-4-2 ☎03-504-6881)

交通: 地下鉄銀座線 虎ノ門駅,

日比谷線・千代田線 霞ヶ関駅下車

参加要領: 1) 定員100名

2) 参加費 会員(協賛学協会会員を含む)

会社24,720円, 大学・官公庁9,270円,

学生2,060円, 会員外49,440円

3) 申込方法 氏名, 勤務先, 連絡先(電話番号も), 所属会員番号, 送金月日をハガキに明記しお申し込み下さい。参加費は銀行振込(太陽神戸三井銀行新橋東支店 普通口座 0920867(社)高分子学会)でお支払下さい。

連絡先: 〒104 東京都中央区銀座5-12-8(本州ビル)

(社)高分子学会 90/4 高分子可能性講座係

☎03-543-7857

ショールームのある

第35回 FRP 総合講演会

基本テーマ: みんな知ってるFRP

一軽くて強いマテリアル

主催: 社団法人 強化プラスチック協会

後援: 愛知県, 名古屋市

協賛: (社)繊維学会ほか

会期: 平成2年11月14日(水)~16日(金)

会場: 名古屋工業研究所

愛知県名古屋市熱田区六番3-4-41

☎052-661-3161

〈講演会場〉ホール

〈ショールーム会場〉展示場

入場料: 2,000円/人(当日), 1,500円/人(前売)

何れも消費税含 会期中有効

記念パーティー:

日時: 平成2年11月15日(木)17時30分~19時

会場: 東急イン「鶴・舞の間」

愛知県名古屋市中区栄3-1-8

TEL 052-251-0109

会費: 12,360円/人(うち消費税 360円)

問合せ先: 〒104 東京都中央区銀座3-15-15

社団法人 強化プラスチック協会

TEL 03-543-1531 FAX 03-543-1536