< 綜 説 >

(受理：平成 19 年 3 月 22 日)

21 世紀の接着技術
— 分子接着剤 —The 21th Century Adhesion Technology
— Molecular Adhesives —森 邦 夫*
Kunio MORI

1. はじめに

齊藤誠一郎氏によれば、コンドラチェフ・シュンペーターの大波がすぐそこまで来ていると云う¹⁾。第 5 次の産業革命の大波のピークが 2020 年頃と予測され、人類は情報通信技術 (ICT) の破壊的な発展の嵐の中に突入しているというのである。過去 4 回の産業革命では機器 (特殊技術) と連結技術 (一般目的技術) の連携による飛躍的な技術の進歩と普及が観察されている。そこで関心は第 5 次の産業革命の中核機器が何であり、その時の基盤技術 (一般目的技術) が何であるかに集中している。中核機器は云うまでもなく携帯電話を媒体とした、小さく、安くて早くでき、高性能である電子製品であり、そのときの基盤技術は物と物をつなぐ技術である。物と物をつなぐ技術とは当然のことながら接着技術である。しかしながら、現在の接着技術が 21 世紀の産業革命の基盤技術となりえるかと言えば「否」である。

日本は 20 世紀末に「失われた 10 年」とか「死の谷」という経済停滞や事業化の低成功率化を経験した²⁻⁵⁾。これらの原因は経済運営、政策の失敗および管理運営能力の欠如等にあると考えられているが、本当にそう考えるべきかの反省がなされていない。基本的には日本の得意とする加工組立産業の崩壊であるが、この背景には高騰した人件費を技術が吸収できなかったことにある。リニア型技術開発による垂直分業方式の産業が人件費を吸収できなかったことが経済停滞を招いたと考えるべきである。このとき物と

物とを単純な方式で繋ぐ複線型技術開発による物造製造技術が確立されていたならば、またそのような概念が技術者の頭脳を占領していたならば、惨めな「失われた 10 年」や「死の谷」と云う病気は軽病であったであろうと考える。

物と物をつなぐ現在の接着技術は残念ながら、このとき力を発揮できなかった。接着技術の歴史は太古までさかのぼり⁶⁾、接着理論も最近は新規なものが出ないほど成熟していて、現在も接着技術の研究は絶えるところを知らない⁷⁻¹¹⁾。しかしながら、数十年同じことを繰り返してきているに過ぎないのではないか。この辺で接着理論を統一化して接着技術を簡素化し、誰でも容易に利用できるように再構築する必要がある。

私は我々の研究課題「次世代プリント回路基板の製造技術の確立」が昨年 10 月から JST (科学技術振興機構) の地域研究開発資源活用促進プログラムに採択され、研究計画の段階で接着理論の統一化とその簡素化について考える機会を得たので、これらの思考過程と若干の成果について述べさせて頂きたい。

2. 接着理論の統一化と接着技術の単純化

これまでゴム接着に関する多くの理論や考え方が提案さ

森 邦 夫

略歴：1965 年岩手大学工学部応用科学科卒業、1987 年岩手大学教授、2002 年岩手大学工学部長、2006 年岩手大学副学長、
専門：高分子化学と接着
趣味：INS (いつも飲んで騒ぐこと)

* 岩手大学工学部応用科学科
岩手県盛岡市上田 4 丁目 3-5 〒020-8551
Department of Chemical Engineering,
Faculty of Engineering, Iwate University,
4-3-5, Ueda Morioka 020-8551, Japan

れてきたし、今も新しい接着技術が研究されている。接着剤、被着体及び接着条件が変われば、接着理論も変化して接着の原点が何処にあるのか皆目わからないのが現状である。学問は使うためにあるのであって、議論するためにあるのではないとの考え方がある。接着という学問を製品設計や部品設計に使用する立場から整理、単純化する必要があるのではないか。このような観点に立つと、接着をどのように見るべきかが重要となる。接着とは物と物をつなぐ学問であり、技術である。物と物をつなぐためのつなぎ方が接着剤、被着体及び接着条件が変われば、接着技術も変化して多様であるため、混同してしまうのである。混乱を防ぐためには接着理論を統一化し、単純化することが必要である。

物質の熱的挙動を扱うエネルギー保存の法則（第一法則）と物質の熱運動の法則（第二法則）を組合せたギブスの自由エネルギー（ ΔG ）は自然界に起こる諸現象を表現する。

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

ΔH : エンタルピー変化 (分子間力の差),

ΔS : エントロピー変化 (分子の運動性の差)

自然界の諸変化は一定圧力下で状態 A と B がある時、 $\Delta G < 0$ では A から B の方向に、 $\Delta G > 0$ では B から A の方向に、また $\Delta G = 0$ のとき、A と B の安定度が等しいのでどちらにも進まない。接着前を A 状態、接着後を B 状態とすると、A から B にいくためには $\Delta G < 0$ が条件となる。 $\Delta H = 0$ が成立するとき、 $\Delta G < 0$ となる。今、 $\Delta H = V(\delta_A - \delta_B)2\Phi_A\Phi_B = 0$ であるから¹²⁾ $\delta_A = \delta_B$ のとき、いつでも $\Delta G < 0$ となり、必ず接着することになる。 $\delta_A = \delta_B$ は何を意味しているかといえ、 δ_A , δ_B のような溶解度パラメータ (SP 値)¹²⁾ が同じ材料であれば接着するということである。SP 値が同じ材料とは成分が同じである材料と成分が異なるが同じ極性の材料という事になる。例えば、ポリエチレン (PE) 同士は同じ成分であり、当然接着することは分かっている。SP 値が同じ材料が接着することは当然であるが、接着の価値が薄れる。接着は異なる性質の材料同士を接着して初めて価値が生まれるが、自由エネルギーの法則によれば性質の異なる材料は接着しないことになる。

さて、SP 値が異なる材料と SP 値が同じ材料の接着点、すなわち界面ではどのようになっているかを考えてみよう。SP 値が同じ材料間と SP 値が異なる材料間において、分子間距離を比較してみよう。圧力一定下の前者において、分子間距離は分子間力 (4.18~41.8kJ/U の結合エネルギー) で結合しており¹³⁾、0.2~0.5nm の範囲内にある。しかし、SP 値の十分に異なる材料では分子間距離が 0.5nm 以上にある¹⁴⁾。1 気圧下における分子間の結合距離は SP 値によって異なるが、高圧になると分子間の結合距離は分子の性質

図1 被着体の結合モデル

の影響が減少し、圧力の影響を強く受ける¹⁵⁾。別な言い方をすれば、 ΔH は材料の性質によって決定されると考えず、材料の分子間の結合距離によって決まると考えるのである。すなわち、分子間の結合距離を 0.2~0.5nm の範囲内に保つことができれば、 $\Delta H \approx 0$ が必ず成立することになり、必ず接着する技術が確立できることになる。これまでは接着現象を被着体間の結合エネルギーで論じてきたが、ここでは観点を变えて接着現象を被着体間の結合距離で考えることを提案する。

現在接着の対象となる材料は金属材料、セラミックス材料及び高分子材料の三材料である。これらの三材料間を化学結合により結ぶことができるならば、三材料間を一定の距離内に置くことは可能である。別な言い方をすれば、接着を実現するためには図1のように、被着体間をトリアジンジチオール基の化学結合で結ぶことによって材料間の結合距離を一定の距離の範囲に置く時、 $\Delta G < 0$ が必ず保障されるので、接着は必ず達成される訳である。被着体間の結合距離を一定の距離に保つ方法はたくさんあるが、被着体間に化学反応を起こさせて両者間を化学結合で結ぶことの一点に集約して統一化する。このような考え方は物造製造業、加工業および組立業などの融合一体化による種々の部品の製造技術に欠かせない。

被着体間を化学結合で結ぶと云う接着概念の基本的な考え方が統一されたならば、次にこれを実現するために、図2のように例えば、トリアジンジチオール基を固体材料表面に付与する試薬とその方法の単純化が必要である。このような試薬は高分子材料、金属材料およびセラミックス材料などのどの固体材料とも同じ方法で反応して多種の高反応性を固体材料表面に高濃度で付与する化合物でなければならない。この時の高濃度とは平面上の濃度のことであり、立体的な濃度である必要はない。このように固体材料間を

図2 トリアジンジチオール基を有する固体材料表面

図3 分子接着剤 TES の化学構造

結ぶ化合物を分子接着剤と呼ぶ。分子接着剤を用いて一方の固体材料表面がトリアジンジチオール基で被覆されることにより、他方の固体材料との接着は著しく単純化される。すなわち、一方の固体材料表面にトリアジンジチオール基を結合させると、他方の固体材料は接着過程でこれと反応する工夫さえすれば良いので接着技術は単純化されるというわけである。

接着理論の統一化と接着技術の単純化の具体策は金属材料、セラミックス材料及び高分子材料に共通の反応性基を導入し、この官能基と反応する分子接着剤が必要となる。これらの材料をコロナ放電処理^{16~21)}、大気圧プラズマ処理²²⁾、および UV 照射処理²³⁾などを行うと表面に OH 基が生成する。分子接着剤には OH 基と容易に反応する官能基を導入することが便利であり、この目的の官能基としてアルコキシシリル基が有効である。以上の観点から、分子接着剤の一つとして、図3に示されるアルコキシシリルプロピルアミノトリアジンジチオール (TES) を分子設計した。TES は OH 基と反応するアルコキシシリル基と種々の材料と反応する可能性のあるチオール基を有する。従って、TES により金属材料、セラミックス材料および高分子材料を OH 処理後反応させると、図2のように表面にトリアジンジチオール基が導入される。トリアジンジチオール基結合固体材料表面(金属材料、セラミックス材料および高分子材料)と金属材料、セラミックス材料および高分子材料などを接触させて反応を起こさせると、図1に示される接着物が得られることになる。

3. 固体材料表面の OH 化とトリアジンジチオール基の導入

固体材料中で金属とセラミックスの表面は金属酸化物を形成しており、いずれも処理以前から OH 基が存在することが知られている^{19~21)}。また、高分子材料も本来 OH 基を有するものもあるし、また大気圧コロナ放電処理、大気圧プラズマ処理、UV 照射処理および化成処理などにより容易に OH 基を表面に導入できる。しかしながら、我々

はここではやはり単純化するために大気圧コロナ放電に絞って研究している。コロナ放電によって金属材料やセラミックス材料が OH 基化するわけではないが、表面の汚れが除去されて反応性の OH 基が表面に現れる点で有効である。このように、固体材料のコロナ放電処理によって、図4に示されるように固体材料表面の OH 基化処理が高速で可能となる。

金属材料やセラミックス材料の表面に OH 基が存在することはよく研究されているので^{19~21)}、ここでは高分子材料の OH 基化について述べる。高分子材料の中にはエポキシ樹脂のように本来 OH 基を有する樹脂と PET や PE のようにそうでない樹脂がある。本来 OH 基を有しない樹脂もコロナ放電処理により OH 基を表面に導入することが可能である。樹脂表面に対するこれらの処理は樹脂に接着性や染色性を付与する方法として研究されてきたが、我々が提案するような化学結合形成の手段としての研究はほとんどない。我々が接着技術を単純化するために、分子接着剤を被着体材料の一方に結合させる必要があったが、この目的の達成には樹脂表面に対する OH 基の導入が便利方法である。

表1にコロナ放電処理(コロナマスターで5秒間照射)による ABS 樹脂, PET, エポキシ樹脂及び PE に対するコロナ放電処理における XPS 表面分析の結果を示す。表面に生成する官能基は OH 基, C=O 基, 及び COOH 基などである。表中の括弧は組成%を示す。エポキシ樹脂は OH 基を本来有するが、コロナ放電によってさらに増加する。COOH 基もかなり生成しており、表面分子鎖が分解していることも予想されるので、今後 COOH が生成しない処理条件等の検討などが重要となる。

表1 コロナ放電処理樹脂板の官能基

官能基	C _{1s} 結合エネルギー, eV (官能基組成, %)				
	dABS	wABS	dPET	dEpoxy	dPE
C*H, C*-C	284.6 (68.5)	284.8 (68.0)	284.2 (60.7)	284.4 (42.7)	284.4 (75.3)
>C*OH	286.4 (21.9)	286.4 (20.9)	286.7 (28.1)	286.0 (37.6)	286.5 (10.4)
>C*=O	288.0 (2.1)	288.4 (6.5)	288.0 (0.1)	288.4 (22.9)	288.0 (9.1)
O=C*OH	289.6 (4.1)	289.6 (4.6)	289.0 (11.2)	289.7 (6.7)	289.5 (5.2)

d: dry 雰囲気でコロナ放電, w: wet 雰囲気でコロナ放電

図4 固体材料表面のコロナ放電処理による OH 基化固体材料

図5 OH化エポキシ樹脂表面とTESの反応

表2 TES処理前後の高分子材料のXPS分析

元素	元素組成, %					
	Epoxy resin		PI film		PET film	
	処理前	処理後	処理前	処理後	処理前	処理後
S _{2p}	0	3.1	0	3.6	0	3.0
N _{1s}	3.1	9.0	9.3	16.5	0	6.6
C _{1s}	80.8	72.1	69.8	60.8	71.4	63.4
O _{1s}	16.1	14.3	20.9	17.4	28.6	25.4
Si _{2p}	0	1.5	0	1.7	0	1.6

樹脂表面のOH基とTESの反応が図5に示される。TESのアルコキシ基が加水分解後、樹脂表面のOH基と脱水縮合して結合し、さらに隣のヒドロキシシリル基と反応して三次元網目構造を形成すると予想される。

表2にTES処理前後のエポキシ樹脂、PI（ポリイミドフィルム）及びPET（ポリエステルフィルム）のXPS分析結果を示す。TES処理前後でそれぞれの元素組成%が異なり、処理後にTESが樹脂又はフィルム表面に結合していることが分かる。TESが導入されると、S:N:Siの存在比率が2:4:1となるが、大体これに一致する。処理前の樹脂にNを含む場合はこれを差引いて比率を計算する。表3はエポキシ樹脂表面のOH基のどの程度が反応しているが調べたものである。150℃で10分間加熱処理した場合では55%くらい反応していることになる。表4はAl板についてのTES処理である。Al板は表面を良く洗浄すると、表面のOHとアルコキシシリル基が反応することが良く知られている。従来は主として室温で長時間の処理が行われていたが、今回は生産性を考慮して高温長時間の処理を行った。どの場合も同じくらいの割合でTESが材料表面に反応しているが、接着において必ずしも同じ結果が

表3 TES処理前後のエポキシ樹脂表面のO_{1s} XPS分析

官能基	eV	O _{1s}	
		官能基組成, %	
		処理前	処理後
>CO*H	530.1	5.5	2.2
≡CO*C≡	531.1	10.6	9.4
-O*Si=	532.3	0	2.7

表4 TESTD処理前後のAl板表面のXPS分析

TESTD 処理	元素組成, %						
	C _{1s}	O _{1s}	Al _{2p}	N _{1s}	S _{2p}	Na _{1s}	Si _{2p}
処理前	1.7	65.8	32.5	0	0	0	0
処理後	13.0	45.7	26.1	7.8	3.7	1.8	1.9

得られているわけではない。

4. 種々の固体材料間の接着

4.1 樹脂とゴムの接着

樹脂とゴム接着²⁴⁾はこれまで、繊維とゴムの接着²⁵⁾に関して研究されているが、樹脂に対するゴムの接着について有効な方法²⁶⁾はほとんど知られていない。特にパーオキサイド架橋接着においてはゴムの表面が加硫しないため接着しないと云われており、製品開発も進んでいないのが現状である。しかし、樹脂が金属に変わる用途として考えられており、樹脂とゴムの加硫接着技術の開発は重要である。図6は樹脂に対するゴムの加硫接着工程を示したもので、樹脂表面に分子接着剤TESを結合させることが特徴である。図7のようにTESを結合させない樹脂又はフィルム（TES濃度ゼロ）は全く接着強度を示さないが、TES濃度を増加させるとTESの結合レベルの増加と共に、樹脂及びフィルムとシリコンゴムのパーオキサイド架橋接着物は接着強度を増し、シリコンゴム層破断（17N/cm以上）の接着物を与える。チオール基がパーオキサイド架橋中に生成したシリコンゴム上のペルオキシドラジカルと反応して、ジメチルシロキサン鎖と結合し、結果としてエポキシ樹脂とシリコンゴムがTES分子接着剤を介在した結合鎖を生成するためと考えられる。

4.2 金属とゴムの接着

金属とゴムの接着は黄銅や亜鉛と天然ゴムの接着について、研究²⁷⁾されてきたが、その他の組合せについてはほとんどない。表5はゴム材料とTES結合金属材料のパーオキサイド架橋接着について示したものである。架橋接着は金属材料表面のTES膜のチオール基がパーオキサイド架橋中に生成した炭素ラジカルと反応して、ゴム材料と金

図 6 樹脂とゴムの架橋接着工程

図 7 ポリエステル、ポリイミド及びエポキシ樹脂と

図 8 金属と樹脂の接着工程

表 5 金属とゴムの接着

No	金属材料	ゴム材料	剥離強度 kN/m	破壊状態
1	Al	EPDM	7.4	◎
2	Al	NBR	8.2	◎
3	Al	H-NBR	8.9	◎
4	Al	SBR	7.4	◎
5	SUS	FKM	5.8	◎
6	Ti	Q	2.9	◎
7	C	EPDM	2.6	◎

属材料の間に化学結合が形成された結果として起こる。分子接着剤を用いると、架橋接着中に起こるこのような界面反応は金属材料とゴム材料の種類に関係なく起こるので、材料に依存しない接着が可能となる。

接着物の接着強度測定後の結果の解析から、TES が結合しない金属材料表面は全く接着しなく、金属材料表面にゴム片は観察されない。しかし、TES 処理により金属材料表面に TES を結合させると、その濃度量の増加と共に接着強度は増加する。TES の処理液の濃度が低い場合で

も処理回数を増加させると接着強度は増加する。すなわち、TES の結合量がゴム分子鎖との反応量を増加させ、結果として界面に形成される界面結合量とゴム強度に応じて接着強度が決定される。

4.3 金属と樹脂の接着

金属と樹脂の接着は著者等²⁸⁾による研究があるのみでほとんど研究されていない。金属と樹脂材料の接着工程を図 8 に示す。この方法は金属材料と樹脂材料の両表面に TES を結合させて、両者を熱圧着することによって接着物を得る方法である。TES がどちらかと反応する場合には両材料表面を TES 処理する必要はなく、片方だけの処理でよい。両者を TES 処理する方法は金属材料と樹脂材料だけに限定されることなく、樹脂と樹脂、樹脂と加硫ゴム、加硫ゴムと金属材料、樹脂とセラミックスセラミックスと加硫ゴムなどほとんどの材料の組合せの接着に応用できる。表 6 は TES 処理金属材料と樹脂材料の熱圧着接着であるが、いずれも樹脂母材が破壊する接着物を与える。樹脂を射出成形するような場合には、樹脂表面を TES 処理することができないので、射出成形中に TES と反応する樹脂を選択するか、又は反応するような工夫が

表6 金属と樹脂の接着工程

金属	樹脂	剥離強度 kN/m	破壊状態
Al	L-PE	4.2	◎
Al	H-PE	5.3	◎
Al	PP	3.6	◎
SUS	ナイロン	6.8	◎
SUS	H-PE	5.1	◎

◎：ゴム相破壊，△：界面とゴム相の混合破壊，X：界面破壊

必要となる。現在、これらの方法でたいいの樹脂の射出成型接着も可能である。このような化学結合の形成による接着は接着界面の安定性や気体などの不透過性が特徴である。

4.4 セラミックスとゴムの接着

セラミックスとゴムの接着例²⁹⁾は非常に少ない。セラミックス材料とゴムの接着も基本的には上述したように、一方を TES 処理して、他方を TES と反応する加硫系を選択することによって、また両者を TES 処理して、熱圧着することにより可能となる。表7は TES 処理したセラミックスにパーオキサイド配合のゴム材料を架橋接着した結果である。TES 処理しないセラミックス材料はパーオキサイド配合のゴム材料と加熱圧着しても接着することは全くないが、セラミックス材料を TES 処理するとセラミックス材料とゴム材料間に TES を介在した界面結合が発生するので高い剥離強度が発生する。

表7 セラミックス材料とゴム材料の接着

No	材料	ゴム材料	剥離強度 kN/m	破壊状態
1	ガラス	Q	4.1	◎
2	Al ₂ O ₃	NBR	8.1	◎
3	Al ₂ O ₃	SBR	7.3	◎
4	Al ₂ O ₃	EPDM	7.4	◎

5. 樹脂の非選択的及び選択的メタル化

5.1 プラスチックめっき

従来、プラスチックに対する金属めっきは六価のクロム酸による表面粗化を必須条件としてきたが、選択的なめっきに関しては全く研究されていない。これは樹脂と金属の密着強度が樹脂表面の凹凸による投錨効果に起因するためと表面が感光性でないためである。密着強度の発現は純粋な接着現象であるので、分子接着剤の使用が可能となる。

図9 PBTの銅めっき

25μm線幅

図10 分子接着剤を用いた配線基板

図9は TES 処理ポリブチレンテレフタレートが無電解銅めっき（膜厚：0.4 μm）の模擬試料である。めっきの着き廻りや均一性を調べるためにわざわざ複雑な形状の模擬試料を使用している。いずれの場所でも高い接着強度（セバスチャン法で測定）を示し、ヒートショック（-20～80℃）にも耐える。本技術の特徴は六価クロム酸や過マンガン酸カリによるエッチング処理をしないため、たいいの樹脂に対して同様のめっきができることである。

5.2 プリント配線基板

現在のプリント回路配線技術は高周波対策（平滑銅表面）、高温半田対策（接着強度）、発熱（誘電率）及びコスト（生産性・時間・面積、工程数、不良率）などに課題を有しており、これを解決することが国際競争力を回復し、維持することに繋がる。さらに、プリント回路配線版の機能も単に能動及び受動素子を搭載する台からこれらが融合一体化された SiP に飛躍的に変身する過渡期である。今後はこれらの目的を視野に入れた技術開発が必要であり、このためにはこれまでのプリント回路配線技術の製造コンセプトをドラスチックに変換する必要がある。我々は現在、プラスチックのめっき技術をプリント回路配線技術の開発に転換して、高周波対策、高温半田対策、発熱及びコストなどの課題を達成し、更なる挑戦を続けている。この方法の特徴はいろいろあるが、分子接着剤が1分子感光体となり、種々の感光方法が可能となることである。

6. 簡易金型

高分子材料の表面に分子接着剤 TES が導入されるならば、この上に金、銀、銅、パラジウム、コバルト、ニッケル、スズなど種々の金属などのめっきを施すことが可能である。この技術はエッチング工程の無いプラスチックメッキであるが、この技術を活用すると、簡単に金型を化学的手法でのみ製造することが可能である。金型の作成方法は母型に直接プラスチックめっきする方法と電鍍型を作成後これに樹脂組成物を流し込んで作成する方法がある。いずれも金属と樹脂組成物の界面強度がポイントである。前者の方法は、金属粉と樹脂を含む母型の表面にトリアジニルジチオール基を導入する。次に触媒を担持して導電層の形成付与を行い、これを無電解ニッケルメッキ液に浸漬し、その後電気ニッケルメッキを行って、表面を金属層で被覆して出来上がる。また、後者の方法は電鍍メッキ型に TES 処理を行い、これに金属粉及びエポキシ樹脂などからなるペーストを注入して加熱すると出来上がる。これらの金型は迅速・安価・高性能の樹脂成型用及びゴム用の金型として有効である。この金型は ABS の成型で 3 万ショットでもまだ問題ない。

7. 結 言

20 世紀のものづくりは製造、加工及び組立の生産システムを進化させた分業時代であった。世紀末には、すでに社会は 21 世紀型イノベーションスタイルへ技術パラダイムの変換を要求していたと考えるべきではないか。「失われた 10 年」の経験はその証である。私は目的を達成するために必要な新規物質とその使用手法を開発し、目的製品の製造、加工及び組立を一体融合化したものづくり技術が 21 世紀型イノベーションスタイルであると提案している。機能性トリアジニルジチオール誘導体を用いることにより、製造技術の中に加工と組立を組み込んで一体融合化した次世代素子内蔵型プリント回路配線基板や化学的な手法による金型製造技術を 21 世紀型イノベーションスタイルのものづくり技術のモデルと位置づけている。このような技術は労働集約的な分業技術からパラダイムを変換して目的指

向型研究開発による「知」の時代を築くに相応しい 21 世紀型イノベーションスタイルのものづくり技術である。目的を達成するためには原理原則の場に立ち返り、「知」を産出し、「知」を活用して、「知」を存分に発揮することが求められるわけである。この時、主役を演ずる重要な基盤技術が「分子接着技術」であると考えている。

引 用 文 献

- 1) 齊藤精一郎：大転換－日本経済 2007 年～2015 年－，PHP 研究所 (2006)
- 2) 宮崎義一：複合不況ポストバブルの処方箋を求めて，中央公論社 (1992)
- 3) 村上 龍：村上龍失われた 10 年を問う (NHK スペシャル)，村上龍/NHK 出版 (2000)
- 4) 岩田規久男：失われた 10 年の真因は何か・エコノミックシリーズ，東洋経済新報社 (2003)
- 5) 小高正稔：経済力創生研究，2(1)，45 (2006)
- 6) 井本 稔：接着の化学，岩波新書 (1967)
- 7) 倉田 豊：接着応用技術，日経技術図書 (1991)
- 8) 畑 敏雄：日本接着協会誌，18，420 (1982)
- 9) W. A. Zisman: Ind. Eng. Chem., 155(10)，18 (1968)
- 10) D. H. Kaelble: J. Adhesion, 12, 5 (1970)
- 11) 井本立也：接着の話，日刊工業新聞社 (1988)
- 12) J. H. Hildebrand, R. L. Scott: The Solubility of Nonelectrolyte, Reinhold (1950)
- 13) 中前勝彦，先端接着接合技術，(有) エヌジーティ，(2000) p. 16
- 14) 中前勝彦，先端接着接合技術，(有) エヌジーティ，(2000) p. 17
- 15) 荒井康彦：超臨界流体のすべて，(株) テクノシステム (2002)
- 16) 筏 義人：高分子表面の基礎と応用上下，化学同人 (1988)
- 17) 井出文雄：高分子表面改質，近代編集社 (1987)
- 18) 高田忠彦：日本接着学会誌，26，135 (1990)
- 19) H. P. Bohem, Disc Faraday Soc., 52, 264 (1971)
- 20) G. A. Parks: Chem. Rev., 65, 177 (1965)
- 21) 中村吉伸，永田員也：シランカップリング剤の効果と使用法，サイエンス&テクノロジー (2006)
- 22) L. Perrone: Plastic Eng. 16(5)，51 (1980)
- 23) 角田光雄，小石真純：工業材料，29(1)，124 (1981)
- 24) 柳原栄一：接着の技術，1(2)，11 (1981)
- 25) D. B. Wootton, Adhesion, 9, 1 (1984)
- 26) 柳沢誠一：日本接着協会誌，22(4)，231 (1986)
- 27) S. Buchan, Rubber to metal bonding, Crosby Lockwood and Sons, Ltd (1959)
- 28) 森 邦夫，佐々木英幸：合成樹脂，43，53 (1997)
- 29) 鈴木正慶：セメダインレビュー，8(3)，2 (1960)