

ホットメルト接着剤の適用評価

島本幸三*・宮尾国彦*・檜垣孝志*・原賀康介**

1. ま え が き

現在、数多くの電気機器が製造され、そのほとんどすべての機器に接着剤が使用されている。接着剤の使用量は他の材料に比べると少量ではあるが、使用法いかんによっては機器の生命を左右する重要な役割を果たすことが多い。したがって、接着剤の選定には十分な考慮を払わなければならない。特に家電機器では、対象となる被着物が金属・木材・プラスチック・紙・セラミックなど多種多様にわたるので、用いる接着剤の種類もおおのの使用条件に合わせて必然的に多くなっている。したがって、これらの多種多様の接着剤の中から対象機種に合った適切なものを選定するための研究は欠かすことができない。また、家電機器においては量産性を重視することから、設計の簡略化・製造プロセスの省力化・自動化などが重要な課題となってくる。筆者らはこのような観点から、速硬化形・省力形・無公害形接着剤として最近脚光を浴びてきたホットメルト接着剤について、テレビやスピーカーのキャビネットなどの木材への適用の可能性を検討したので報告する。

2. ホットメルト接着剤とは

ホットメルト接着剤(以下HMAと略す)は主に熱可塑性高分子をベースポリマとし、これに各種の粘着付与剤・可塑剤・酸化防止剤などをブレンドしたもので、常温では固形状の無溶剤形接着剤である。HMAはアプリケーションと称する塗布装置で加熱溶融後、被着剤に塗布されて圧着・冷却されることにより、瞬間的に接着が完了する。したがって、ホットメルト接着方式は、従来の溶剤希釈形・反応形の接着剤では困難とされていた接着工程の合理化・高速化・省力化更には無公害化などを一挙に解決することができる。

HMAはそのベースポリマの組成から分類すると図1.のようになる。このうち実際には(汎)用に供されているのは、エチレン-酢酸ビニル共重合体(EVA)が約80%と主流を占めており、その外ポリアミド樹脂・ポリエステル樹脂などが特殊な用途に用いられている⁽¹⁾。HMAはこれらのベースポリマにおおの表1.に示すような改質材をブレンドしてあり⁽²⁾、その共通の特徴は次のとおりである。

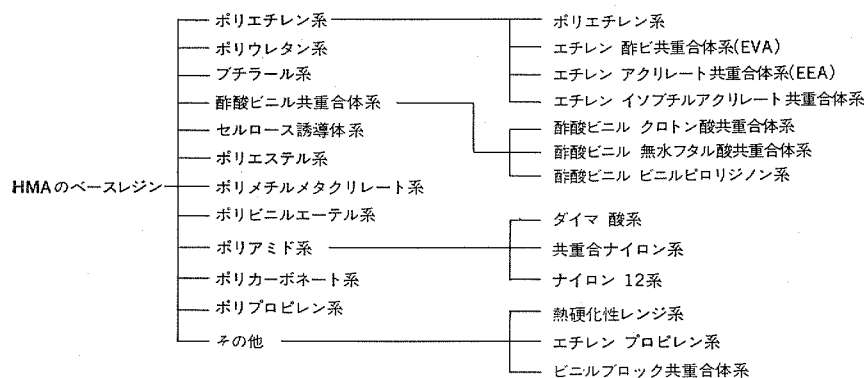


図1. HMAの組成による分類

表1. 副資材の種類とその役割

副資材	種類	役割
	ワックス	
可塑剤	DOP DBP TCP BBP など	(1) 溶融を容易にし可塑性を与える。 (2) 被着体表面の浸透性を高める。 (3) 耐衝撃性を改良する。
粘着性付与剤	ロジン ジステル フェニール樹脂 など	(1) 初期粘着性・残留粘着性を改良する。
充填剤	クレータ 炭酸カルシウム など	(1) コストの低減 (2) 収縮率の低下 (3) ブロッキング防止 (4) 過度の浸透性防止
酸化防止剤	パラフェニルフェノール など	(1) 加熱溶融時の酸化や分解の防止

- 長所: (1) 接着が瞬間的に完了する。
(2) 用途が広い。(ほとんどあらゆるものが接着可能)
(3) 再接着が可能である。
(4) 無溶剤・無公害形である。
(5) 作業性に優れ自動化しやすい。
- 短所: (1) 耐熱性に劣る。
(2) 高度の接着力を持たない。
(3) 外的条件(作業環境)によって接着力が異なる。
(4) 始動するまでに時間がかかる。
(5) アプリケータが必要である。

このような特徴を有するHMAの接着方式自体はとりわけ新しいものではなく、にかわ・アスファルトなどの天然高分子系のもので18世紀に既に使用されていた。

しかし、今日のようにHMAが工業的に広範囲に使用され、接着剤の一分野を占めるようになったのは、優れたHMA素材やアプリケーション*の開発及び社会的要請などに適合したためであろう。現在、

HMAは製本・包装・木工・合板・製靴など各分野で応用されてかなりの実績を積んでいるが、電気機器などへの適用はその緒についたばかりであり、現在各方面への応用が盛んに検討されている⁽³⁾。

(*アプリケーション: HMAは一般の接着剤のように、塗布だけで接着を完了することはできず、必ずHMAを加熱溶融する装置とこれを塗布する装置を使用しなければならない。この加熱溶融塗布装置をアプリケーションと称し、HMAにとってはアプリケーションの性能が接着剤自体の性能に劣らぬほど重要である⁽⁴⁾。)

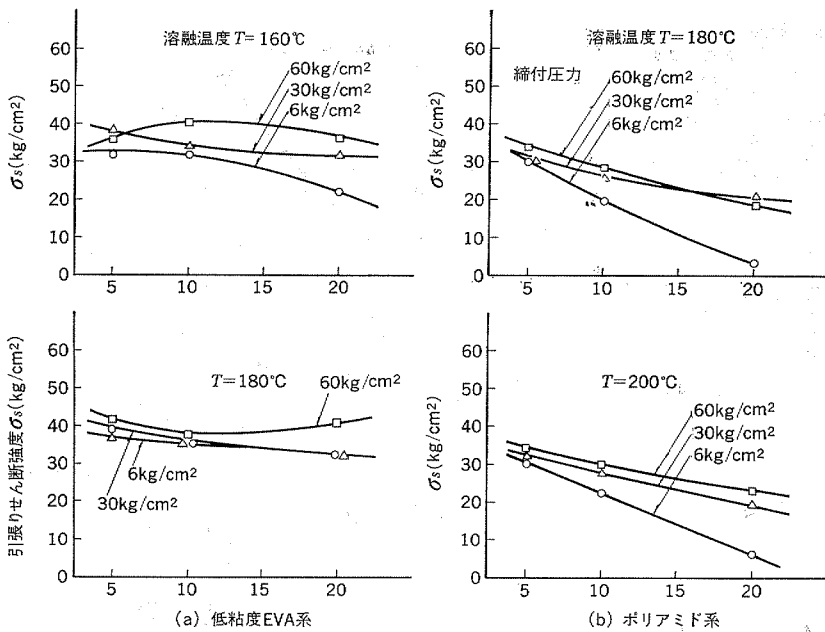


図 4. HMA の作業性

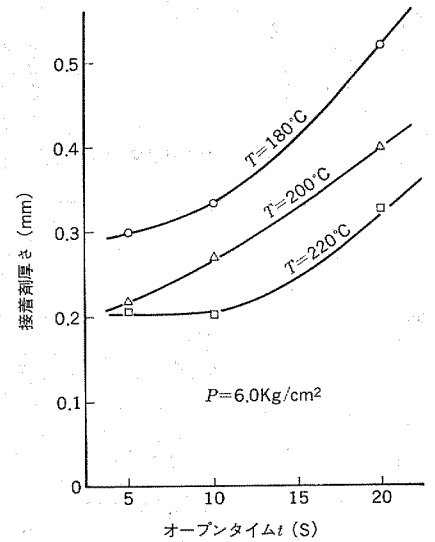


図 5. 接着条件と接着剤厚さ (試料⑦)

べ著しく短いことを特長としているが、あまり早すぎると接着作業が不可能となる。そこで、適度なオープンタイムを有するものが要求される。オープンタイムはラインの接着スピード・塗布から圧着工程までの距離を決定するもので、HMAを使用するラインでは最も重要な項目である。オープンタイムに関連する要因は種々あるが、その内の圧縮圧力・溶融温度の引張りせん断強度に与える影響について得た結果を図 4. に示す。(高粘度 EVA の図は省略) 高粘度 EVA(B)・低粘度 EVA(A)とも各条件で 20 秒程度のオープンタイムでは強度の低下も少なく十分な強度を保持している。ポリアミドタイプはオープンタイムが 5 秒程度であると他の条件に関係なく 30 kg/cm² の強度を示すが、オープンタイムが長くなると強度はかなり低下し、溶融温度・圧縮圧力を増しても強度の低下は免れない。また、ポリアミド系 HMA の各接着条件における接着剤厚さをプロットすると図 5. のようになり、オープンタイムが長くなるに従って接着剤の厚さが急激に増加しており、接着条件が悪くなっていることが分かる。この接着剤厚さと強度の関係を図 6. に示したが、接着剤厚さが 0.3 mm を超えるような条件では急激に強度が低下している。このように、接着条件によって強度が変化することは HMA の欠点の 1 つであり、実用に際してはその条件を厳しく管理しなければならない。

(3) オープンタイム・塗布量・被着材温度

冬期と夏期では工場内の作業ふい気温度はかなり変化し、被着材の温度も異なることから接着強度の変化が懸念される。そこで、オープンタイム・被着材温度・塗布量の接着強度に与える影響について試料⑩、⑪を用いて検討した。その結果の一部を図 7. に示した。この結果から、HMA の塗布量が最もせん断強度に影響を及ぼし、次いでオープンタイムであり、被着材の温度はほとんど影響しないことが分かった。また、例えばラインスピードからオープンタイムが 30~40 秒、その時のせん断強度が 30 kg/cm² 以上という要求特性を想定して作業性と接着強度の関係を示したものが図 8. である。試料⑩は塗布量が少なくとも満足な接着強度・オープンタイムが得られるが、⑪は⑩の 1.5~2 倍の塗布量を必要とし、コスト的にも不利となることが分かる。また、破壊の状態を調べると、塗布量が少なくオープンタイムが長い場合は⑩、⑪いずれも界面破壊を生じるが、一方、塗布量が多

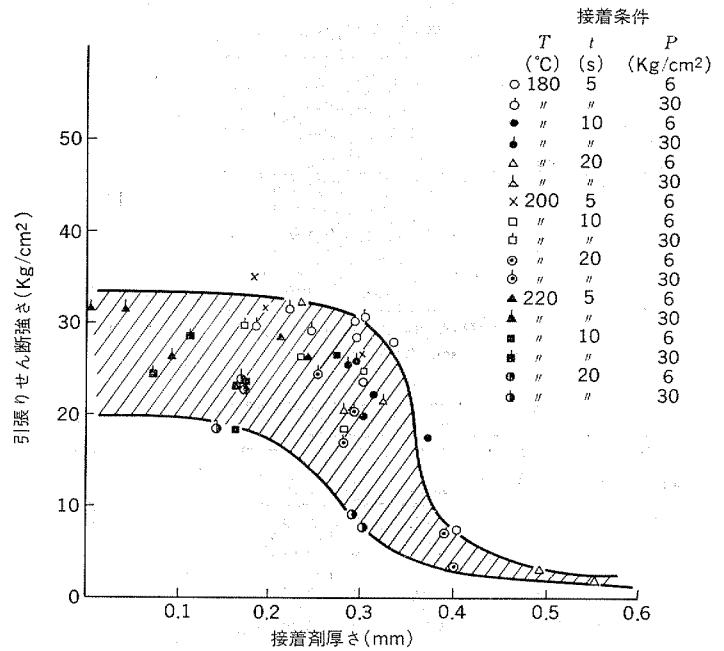


図 6. 接着剤厚さと引張りせん断強度 (試料⑦)

くオープンタイムが短い場合、⑩は材破で⑪は凝集破壊となる。

3. 3. 2 HMA の初期特性

前項では接着作業 (接着条件) における諸要因の接着強度に与える影響を明らかにしたが、ここでは各接着剤を最適条件で接着した場合の初期特性を調べた。接着条件を表 3. に、初期特性を表 4. に示す。また、接着条件は多少初期特性の場合と異なるが、引張りせん断強度の温度依存性を図 9. に示した。HMA の常温での諸特性を酢ビエマルジョン・ゴム系接着剤と比較すると、引張りせん断・曲げ強度は酢ビエマルジョン系とほぼ同等であり、ゴム系より高く、その破壊の状態はほとんど材破であった。衝撃強度では高粘度 EVA タイプの B, C がゴム系より優れているが、他の HMA はゴム系より劣っていた。一方、酢ビエマルジョン系と比べるとすべての HMA が優れていることが分かる。また HMA を合板製キャビネットへ適用する場合、キャビネットの構造・外力のかかり方などから考えると比較的確

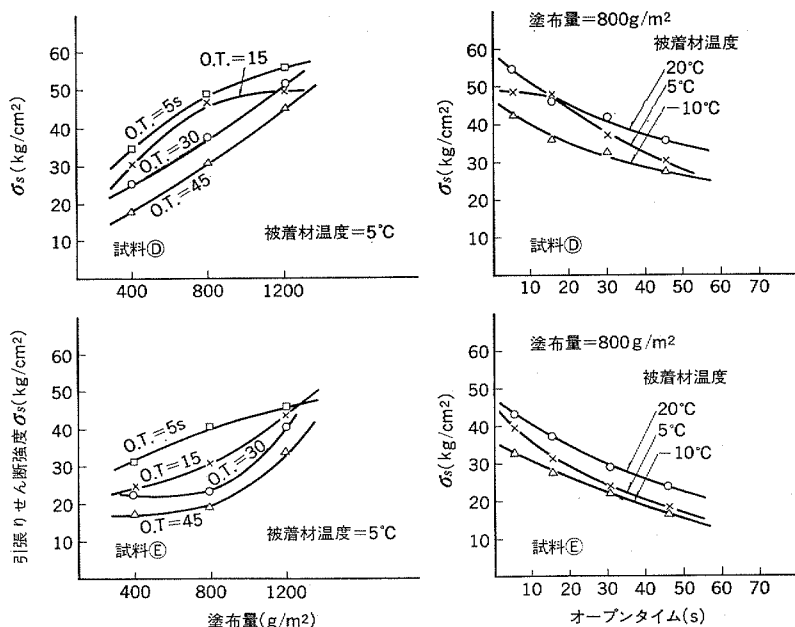


図 7. 低粘度 EVA タイプの作業性 (試料D・E)

表 3. 接着条件

条件	試料 A	B	C	F	G	H	I
溶融・塗布温度	200°C	210°C	210°C	210°C	110°C	室温	室温
塗布方法	アプリケーションター用*	アプリケーションター	アプリケーションター	アプリケーションター	ガラス棒にて塗布	スプレー	ガラス棒にて塗布
オープンタイム	3~5秒	3~5秒	3~5秒	3~5秒	3~5秒	30秒	—
圧縮方法/時間	指圧/10秒	指圧/10秒	指圧/10秒	指圧/10秒	指圧/10秒	指圧/10秒	クランプ/24時間

* アプリケータ：高粘度 HMA 用に開発されたもので、ノズル式・直接加熱方式である Nordson XII 形を用いた。

表 4. 各 HMA の初期接着強度特性

項目	引張りせん断強度		曲げ強度		衝撃強度		L形圧縮強度	
	kg/cm²	破断状態*	kg/cm²	破断状態	kg·cm/cm²	破断状態	kg/25mm	破断状態
A	46.0±4.3	B+A	9.6±1.9	B	3.9±1.3	C+B	27.4±1.0	B
B	58.5±5.9	B+A	9.4±1.6	B	7.6±1.3	C+B	28.4±2.2	B
C	44.0±12.5	B+A	9.5±1.9	B	19.2±1.4	B	23.3±2.6	B
F	52.5±3.1	C	10.6±3.5	B	0.9±0.4	C	24.5±3.7	C
G	62.7±5.4	B+C	8.8±0.9	B	1.9±0.3	A+C	13.1±2.7	C
H	20.3±4.7	C	7.3±1.9	B	6.1±1.6	C	13.9±3.1	C
I	54.8±18.6	B	9.3±1.2	B	2.9±0.3	B	16.7±2.2	B+C

* A：界面破壊，B：被着材破壊，C：凝集破壊を示す。

用状態に近いのがL形圧縮強度である。この強度については反応形HMA(G)以外はいずれもゴム系・酢ビ系より優れていた。

このように常温におけるHMAの強度は衝撃強度が従来のゴム系・酢ビ系と比較して若干劣るものもあるが、ほぼ満足できる。

図9には温度特性を示した。HMAに限らずすべての供試接着剤は温度の上昇に伴って強度は急激に低下するが、特にEVAベースのものは60°Cで3~5 kg/cm²に低下した。ポリアミド系・反応形のHMAは60°Cで15~20 kg/cm²の強度をもち、酢ビ・ゴム系と同程度の耐熱性を有していた。前者に比べ後者のほうが耐熱性に優れている。

3.3.3 HMAの耐久性 (耐環境性)

HMAの耐久性に関しては研究例が少なく、不明の点が多い。そこ

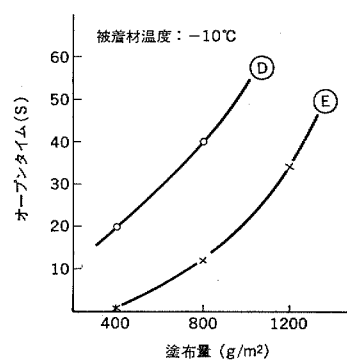


図 8. 30 kg/cm²以上の強度が得られる接着条件

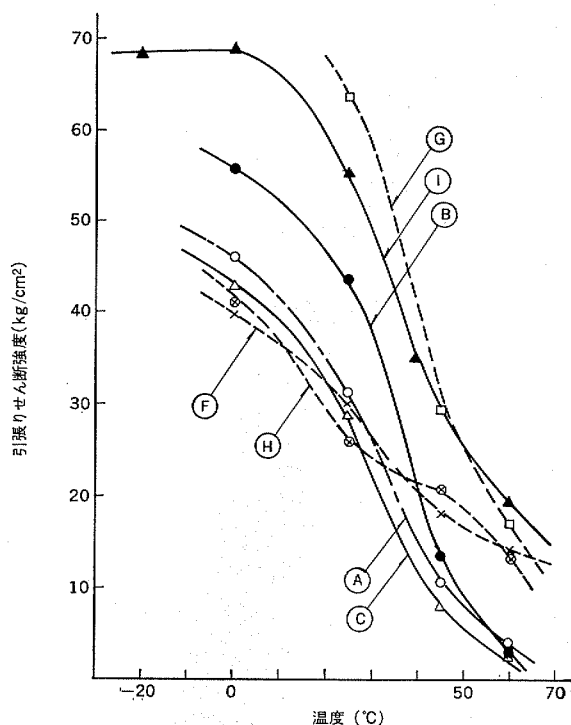


図 9. 各 HMA の温度特性

で我々は各種の環境条件におけるHMAの劣化挙動を把握するため、以下の実験を行ってゴム系・酢ビ系接着剤と比較し、その信頼性について検討した。

環境条件

(a) 耐湿試験

60°C/90% RHのふんい気中に試験片を7日、20日暴露した後、室温にとりだして1日放置し、室温にて接着強度を測定した。

(b) 乾湿くり返し試験

50°C/dry/16h ⇌ 60°C/90% RH/8hを1サイクルとし、5・10サイクルのくり返しを与えた後、室温にとりだして1日放置し、室温にて接着強度を測定した。

(c) 冷熱衝撃試験

-40°C/dry/2h ⇌ 室温 (20±2°C/55~65% RH/1min) ⇌ 60°C/dry/2hを1サイクルとし、10・20サイクルのくり返し冷熱衝撃を与えた後、室温にとりだして1日放置し、室温にて接着強度を測定した。

以上の環境条件で暴露したものについて、引張りせん断強度・曲げ強度・L形圧縮強度・衝撃強度の変化を測定した。それらの結果の

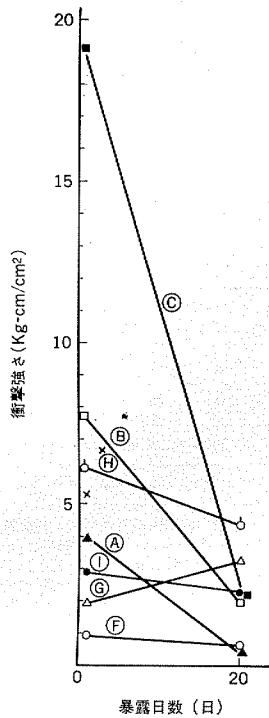


図 10. 耐湿性～衝撃強度

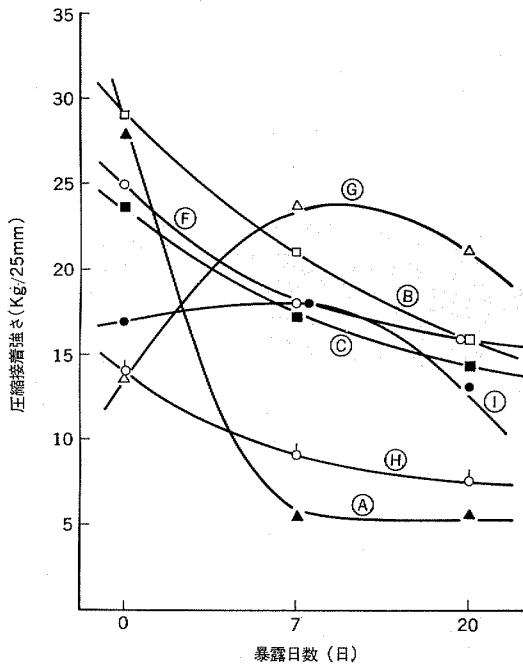


図 11. 耐湿性～L形圧縮強度

一部を 図 10., 図 11. に示した。これらの耐久性の結果をまとめると次のようである。

(1) 低粘度 EVA 系 HMA

すべての暴露条件で強度低下が激しく、特に乾湿くり返し・耐湿試験における L 形圧縮強度・衝撃強度の低下が著しい。また、破壊状態も強度の低下に伴って材破から凝集破壊に変わっており、湿度や熱によって接着剤の凝集力が著しく低下するものと考えられる。この原因は、接着剤の軟化点が低い (90~96°C) ことや粘度低下を目

的にワックスが多く配合されているためであろう。

(2) 高粘度 EVA 系 HMA

試料⑧・⑨は共によく似た劣化傾向を示し、耐湿試験での衝撃強度の低下が著しい。しかし初期値が高いため、劣化後も酢ビ系と同等の強度を保持する。圧縮強度・曲げ強度も低下はするが、劣化後も破壊状態は材破であることから、接着力は十分保持していると考えられる。

(3) ポリアミド系 HMA

各環境条件で L 形圧縮強度に低下が見られるが、引張りせん断・曲げ・衝撃強度はほとんど低下せず、耐久性に優れていることが分かる。しかし、衝撃強度は初期値があまりにも低いので実用上問題となるであろう。一般に、脂肪族ポリアミドの機械的強度は、くり返し単位のメチレン基濃度に対するアミド基濃度が高い程大きくなり、逆にアミド基濃度が低い程吸湿性は小さく、ふんい気湿度の影響を受けにくい⁽⁶⁾。この実験では低分子量タイプについて評価を行ってきたが、耐久性の結果から判断して、アミド基濃度は小さいものであろう。

(4) 反応形 HMA

今回評価した内では最も高い接着力と優れた耐久性を示し、各劣化環境下で逆に強度が上昇している。これはこの HMA が反応形であるため、各環境に暴露中に湿気と熱によって硬化反応が更に進んで凝集力が増加したためであろう。この HMA に限り、硬化を十分進めるために試験開始まで 8 日間室温 (23±3°C/55~60% RH) に放置したが、反応は完全に進んでおらず、高湿度下では更に硬化反応が進行することが分かった。

以上、いろいろな環境下における HMA の耐久性を評価した結果、いずれの接着剤とも冷熱サイクルの影響はほとんど受けませんが、耐久性は湿度に大きく左右されることが分かった。また、多湿環境下で最も影響を受けるのは衝撃特性であり、強度低下が著しい。このような耐久特性を十分考慮して、適用対象機種の外力のかかり方、使用環境条件などにそれぞれ適した HMA を選定することが肝要である。

4. む す び

木材への適用を対象として、HMA の諸特性について検討した。その結果、従来から多用されている酢ビエマルジョン系・ゴム系接着剤に代わって HMA は十分適用可能であることを示した。今後更に高性能な HMA の開発とアプリケーションの発達とあいまって、HMA の採用による接着工程の合理化・無公害化が進むものと思われる。また、その他電気機器分野への応用も増加していくであろう。本文がそのために多少とも参考となれば幸甚である。

参 考 文 献

- (1) 朝田：高分子加工，24，増刊，83 (昭 50)
- (2) 清野：高分子加工，24，増刊，135 (昭 50)
- (3) 坂野ほか：National Technical Report, 23, No. 3, 415 (昭 52)
- (4) 内田：日本接着協会誌，8，No. 3, 29 (昭 47)
- (5) 千葉：日本接着協会誌，8，No. 4, 17 (昭 47)
- (6) 井上ほか：日本接着協会誌，13，No. 6, 24 (昭 52)