

# ガラス質微小中空球体の建材への応用

青山 幹 森下 和仁  
林 好正

## Application of Glass Microspheres in Construction

Tsuyoshi Aoyama Kazuhito Morishita  
Yoshimasa Hayashi

### Abstract

This study is concerned with the application of synthetic resin-glass microspheres (balloons) in construction. This material has found use previously in Europe and America in ocean applications, e.g., syntactic foams, buoys and pontoons. The purpose of most of the investigations described in this report was to study mixture workability, effect of thermoplastic resin on prevention of setting cracks, fiber reinforcement effect, etc., in an unsaturated polyester resin-balloon system. On the basis of experimental results, the authors applied this composite material to curved concrete formwork. Further, by using an epoxy resin-balloon system, damaged building components were successfully mended.

### 概 要

本報告は、ガラス質微小中空球体（バルーン）を用いた合成樹脂複合体の建築用途への応用について述べたものである。従来より深海探索艇の浮き材などに使用されているバルーンは、フライアッシュなどを原料としているが、製造方法の改良により、建材利用を考えるまでに安価となって来ている。そこで、英国のバルーンを骨材とし、不飽和ポリエステル樹脂をバインダーとして用いたレジンモルタルについて、その作業性、成形体の亀裂発生の防止、繊維補強効果などについて検討を行った。

応用例として、コンクリート用曲面型枠および、エポキシ樹脂をバインダーとした補修用レジンモルタルへの利用を考え、これら一連の用途を実施し、成果をおさめた。

### 1. まえがき

近年複合材料の開発は盛んであるが、中でもガラス質微小中空球体の利用は海洋開発、特に浮きさん橋や深海探索艇の浮力材 (Syntactic Foam) などに考えられてきているほか、建築用材料としての応用も考えられはじめている。ガラス質微小中空球体は、微粉炭などを原料としたフライアッシュなどを焼成発泡させて製造するものであるが、前述の海洋用途に用いられる場合、その耐圧力性、粒形、粒度分布などに高度の性能を要求され、製品はきわめて高価となった。また建築用材料への用途を考える場合でも、成形品の要求性能、製造時の条件などにより、相当な高強度およびその他諸性能を必要とする。欧米では特にグラスマイクロバルーンで通称されるこれら材料の用途研究は盛んである<sup>1)</sup>。一方、日本国内でもシラスなどシリカ質鉱物を原料とする微小中空球体が作られ、種々検討がな

されている。これは、安価となる要因はもっているが、その強度、粒形などのかねあいから、たとえば、これを骨材として用いた成形品の射出成形時にその25%程度が破損する<sup>2)</sup>などの事例があり、必ずしも満足なものとは言えない。このような状況にあって、数年前より英国においては、原料の選択、製造方法の改良などにより、建築材料としての利用を考えるに妥当な性能、価格をかねそなえたガラス質微小中空球体が作られるようになっている<sup>3)</sup>。

本研究は、英国の微小中空球体を骨材とするレジンモルタルの建築材料への有効利用を目的とし、そのバインダーとして不飽和ポリエステル樹脂を用いて各種の検討を行い、さらにその具体的応用として、コンクリート用曲面型枠、あるいはまた、エポキシ樹脂をバインダーとした補修用レジンモルタルへの利用などを考え、これら一連の用途について施工を行い、その有用性を検討したものである。

## 2. 実験

### 2.1. 検討項目

- (a) 骨材/樹脂比に関する検討
- (b) 中反応性樹脂と低反応性樹脂との組合せの検討
- (c) 低収縮剤としての熱可塑性樹脂混入の検討
- (d) 繊維補強効果の検討

### 2.2. 使用材料

本研究に用いたガラス質微小中空球体（以後パルーンという）は、表一に示す性質を持つ。また合成樹脂類は、表二に示すもの（以後本文中では図中の記号を用いる）を用いた。

#### 化学組成

シリカ(SiO <sub>2</sub> )	55~60%
アルミナ(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	25~30%
酸化鉄(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	< 5%
アルカリ(Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O)	0.5~4.0%
その他(CaO, MgO, MnO...)	微量

#### 物理的性質

形状	微小中空球体
色	灰白色
嵩比重	0.3~0.4
見掛比重	0.6~0.7
粒径	20~250μ
球体殻厚	2~20μ
融点	1200℃
50%破壊静水圧	100~200kg/cm <sup>2</sup>

注\*パルーンはアーモスフェア®(新田ベルト(株))を使用

#### PM:

中反応性タイプ不飽和ポリエステル樹脂  
ポットライフ 15分(25℃:CT1%)  
粘度 200CPS

#### PL:

低反応性タイプ不飽和ポリエステル樹脂  
ポットライフ 15分(25℃:CT1%)  
粘度 230CPS

#### TP:

ポリスチレン系樹脂 粘度75PS  
(低収縮剤として使用)

#### DT:

キノン系重合禁止剤  
(硬化時間調整剤として使用)

#### CT:

メチルエチルケトンパーオキサイド  
(重合触媒として使用)

表一 パルーンの\* 組成および性質

表二 合成樹脂類の性状ならびに記号

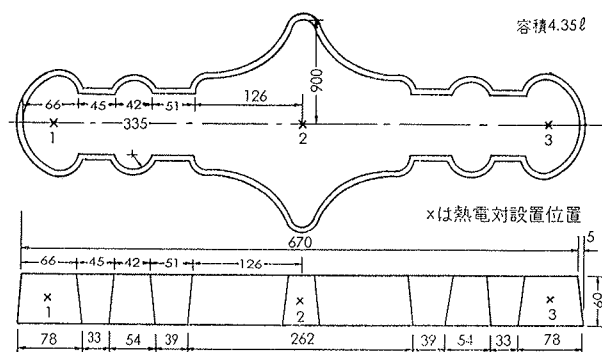
### 2.3. 実験方法

2.1. 検討項目(a)~(c)の比重および強度測定用試験体は、JIS R 5201 に示される鋼製3連型枠を用いて成形した。材令3日でアムスラー型試験機により、曲げおよび圧縮強度を測定した。

混合物を約200ccのビーカーに流し込み、それが流動性を失うまでの時間を測定し、これをポットライフとした。

硬化収縮による亀裂の発生の実験は、図一に示す形状の試験体を作成し、亀裂の発生の観察および硬化時の温度を測定する方法をとった。測温方法は、図一1中に示す位置に銅コンスタンタン熱電対を設置し、電子管式平衡温度計によって記録した。

検討項目(d)の試験体は、1300×600×40(mm)の板状にたて打ちにし、試験体 No. 1~4 はプレミックスしたものを注入し、No. 5 以降はゲルコートにて補強



図一 亀裂発生実験試験体

材を表面にコーティングして作成した。

曲げ強度、破壊曲げひずみの測定については、前述の試験体を、600×100×40(mm)に切断し、JIS A1408の3号試験体に準じ、スパン40cmでオートグラフ(クロスヘッドスピード0.5mm/min)により加力し実験をおこなった。

### 2.4. 結果

各検討項目に対する実験の結果を表一3~6および図一2~4に示す。

### 2.5. 考察

#### (a) 骨材/樹脂比に関する検討

成形体の強度は、骨材/樹脂比に大きく影響

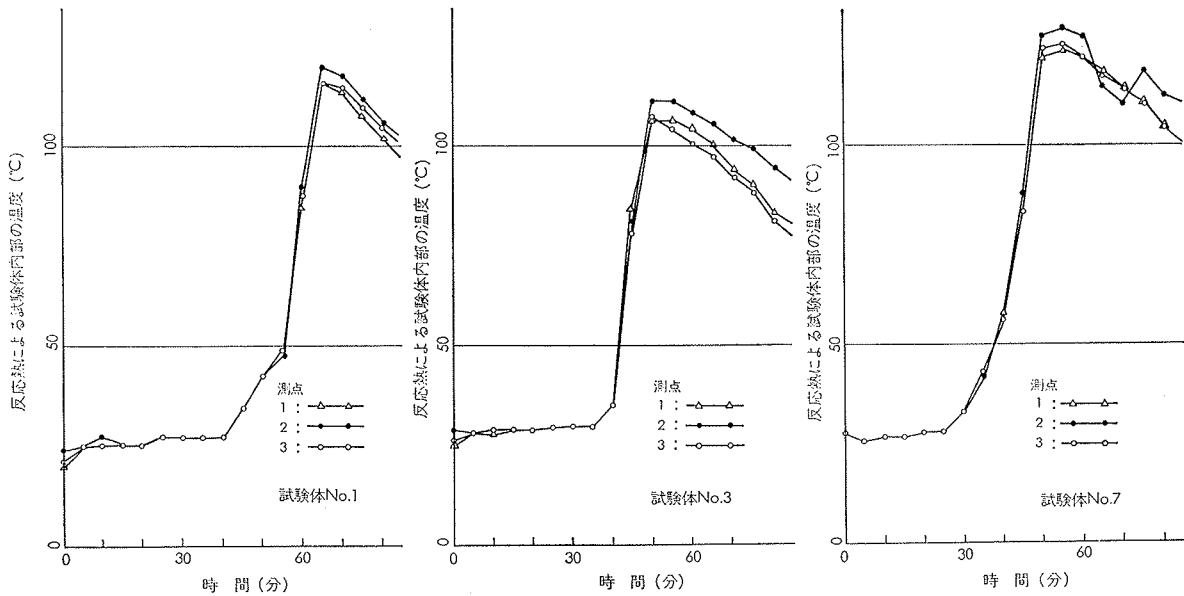
PM	樹脂配合比(重量比)			パルーン/樹脂	ポットライフ(分)	嵩比重	強度(kg/cm <sup>2</sup> )		作業性
	PL	DT	CT				曲げ	圧縮	
100	0	1.0	0.5	50/50	127	0.77	162	478	○
				40/60	142	0.85	245	634	◎
				50/50	81	0.75	163	443	○
				40/60	70	0.85	252	660	◎
0	100	1.0	0.5	50/50	>300		未硬化		○
				40/60	>300		未硬化		◎
				50/50	32	0.79	53	68	○
				40/60	27	0.87	57	66	◎

表一3 強度試験結果(a)

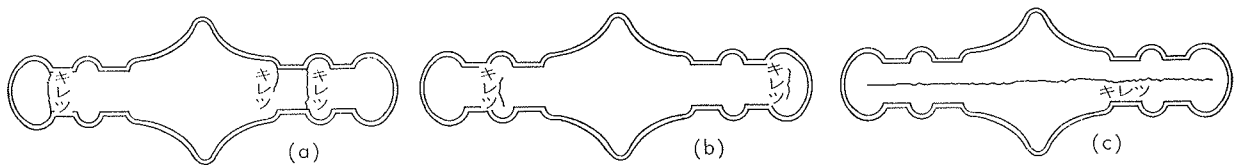
PM	樹脂配合比(重量比)				骨材* 樹脂	ポットライフ(分)	嵩比重	強度(kg/cm <sup>2</sup> )		作業性
	PL	DT	CT	曲げ				圧縮		
100	0	10	0.5	1.0	50/50	40	0.94	229	621	◎
					60/40	50	0.86	198	569	○
					70/30	>300		未硬化		△
80	20	10	0.5	1.0	50/50	35	0.94	208	676	◎
					60/40	45	0.85	210	554	○
					70/30	>300		未硬化		△
60	40	5	0.5	1.0	50/50	30	0.93	239	627	◎
					60/40	40	0.86	200	565	○
					70/30	>300		未硬化		△
100	0	0	0.5	1.0	50/50	40	0.92	194	654	◎

\*骨材はパルーン/タルク=3/1, 樹脂は PM+PL, 数値は3体の平均値

表一4 強度試験結果(b)



図一 2 測温の結果

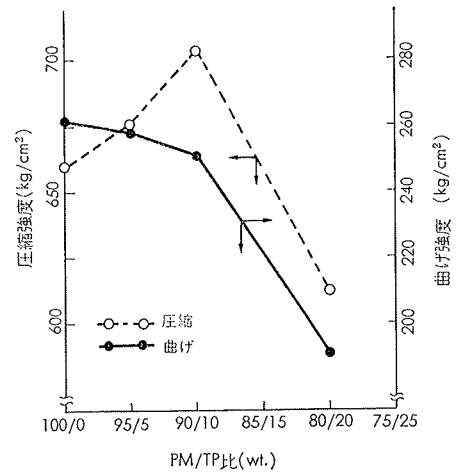


図一 3 亀裂のパターン

No.	樹脂配合比 (重量比) <sup>1)</sup>				補強材	亀裂の発生状況	最高温度 °C	比重	強度 (kg/cm <sup>2</sup> )		
	PM	PL	TP	CT					曲げ	圧縮	
1	100	0	0	1.0	無	キレツが発生し試験体が破断した。	a	120	0.85	262	660
2	100	0	0	1.0	有	キレツの発生は認められたが破断しなかった。	b	-	-	-	-
3	50	50	0	1.0	無	キレツが発生し試験体が破断した。	a	111	-	-	-
4	95	0	5	1.0	無	同上	a	-	0.84	258	676
5	92.5	0	7.5	1.0	無	キレツの発生は認められなかった。	-	122	-	-	-
6	90	0	10	1.0	無	同上	-	128	0.86	251	703
7	87.5	0	12.5	1.0	無	同上	-	129	-	-	-
8	85	0	15	1.0	無	長手方向にキレツが発生した。	c	-	-	-	-
9	80	0	20	1.0	無	同上	c	-	0.82	191	612

注) \*1 バルーン/樹脂=40/60(wt.)  
\*2 ガラス繊維チョップストランド(長さ6mm) 樹脂/繊維=100/2(wt.)

表一 5 亀裂の発生状態



図一 4 低収縮剤の強度に対する影響

を受けており、骨材の使用量が多くなるにつれて、その曲げおよび圧縮強度は低下する傾向が認められた。また骨材量70%以上では樹脂量が不足し、硬化が著しく阻害された。そのため、加圧成形が必要となる。

(b) 中反応性樹脂と低反応性樹脂との組合せの検討

PLの強度はPMに比して著しく低い、PLの混入が40%までは強度低下は余り認められなかった。反応熱を低くし、硬化収縮による亀裂を防止する意図でこの検討を行ったが、50%の混入でもPM単味より約

10°C低いだけにとどまり、効果はみられなかった。

(c) 低収縮剤としての熱可塑性樹脂混入の検討

熱可塑性樹脂を熱硬化性樹脂中に混入し、その硬化収縮による亀裂の発生を防止する方法の有効性は知られているが<sup>4)</sup>、本実験に使用されたPMに対して、TPは、その最適使用量が7.5~12.5%であり、その前後では有効でないことが判明した。また10%程度までの混入では、さほど強度に影響しない。

(d) 繊維補強効果の検討

NO.	補 強 方 法	補強材 <sup>*1</sup> 使用量 g/m <sup>2</sup>	比重	曲げ強度 $\sigma_b$ kg/cm <sup>2</sup>	曲げ弾性係 数 $E_b$ $\times 10^4$ kg/cm <sup>2</sup>	$\delta_b$ cm	補 強 材 効 果 <sup>*3</sup>	
							曲げ強度 に対する	曲げ弾性係 数に対する
d-1	非 補 強	—	0.85	200 (100) <sup>*9</sup>	3.47 (100)	0.368 (100)	—	—
d-2	樹脂 100重量部に対して、ガラス繊維チョップストランド <sup>*4</sup> (長さ6mm) を1重量部混入	147	0.86	155 (77.5)	3.48 (100)	0.298 (78.5)	-0.153	0.002
d-3	樹脂 100重量部に対して同上を3重量部混入	441	0.88	209 (104)	3.56 (103)	0.369 (100)	0.009	0.006
d-4	樹脂 100重量部に対して、カーボン繊維チョップストランド <sup>*5</sup> (長さ6mm) を3重量部混入	441	0.81	200 (100)	3.34 (96.3)	0.371 (101)	0.000	-0.008
d-5	成形体の表面および裏面にガラスメッシュ <sup>*6</sup> 1層を補強	416	0.90	262 (131)	3.93 (113)	0.423 (115)	0.075	0.032
d-6	同 上 にガラスクロス <sup>*7</sup> 1層を補強	400	0.89	240 (120)	3.87 (112)	0.386 (105)	0.050	0.029
d-7	同 上 にガラスマット <sup>*8</sup> 1層を補強	932	0.90	245 (123)	3.91 (113)	0.395 (107)	0.025	0.014
d-8	同 上 にガラスクロス <sup>*7</sup> 3層を補強	1200	0.90	206 (148)	4.07 (117)	0.436 (118)	0.040	0.014
d-9	成形体の表面および裏面にガラスクロス <sup>*7</sup> 1層およびガラスマット <sup>*8</sup> 1層を補強	1332	0.91	290 (145)	4.15 (120)	0.431 (117)	0.030	0.015

注 \*1 厚さ40mmの板として1m<sup>2</sup>あたりの補強材重量  
 \*2 破壊時における中央部のたわみ量 (cm)  
 \*3 補強材効果の算定式:  
 曲げ強度に対する効果:  $\frac{\sigma_{bn} - \sigma_{b1}}{\sigma_{b1}} \times \frac{100}{a}$   
 曲げ弾性係数に対する効果:  $\frac{E_{bn} - E_{b1}}{E_{b1}} \times \frac{100}{a}$   
 ただし添字 n は試験体 No.

a は補強材使用量 (\*1 参照)  
 \*4 富士ファイバーガラス(株)製  
 \*5 鶴東レ製  
 \*6 富士ファイバーガラス(株)製 208 g/m<sup>2</sup>, シラン処理  
 \*7 同 上 200 g/m<sup>2</sup>, 同 上  
 \*8 同 上 470 g/m<sup>2</sup>, 同 上  
 \*9 ( )内の数字はNo.1 を100とした時の対比

表一六 繊維補強による結果

非補強の試験体の曲げ強度は 200 kg/cm<sup>2</sup> であり、杉材の約2/3に相当し、曲げ弾性係数は、約 3.5×10<sup>4</sup> kg/cm<sup>2</sup> であり同じく約1/2に相当する。

ガラス繊維等のプレミックスによる補強効果は小さいが、その中では試験体 No. d-3 が最も効果が高かった。しかし、その強度増加は非補強に比して約4%にすぎない、また繊維のプレミックスはその作業性を著しく低下させるので、この種の補強方法は実用性に乏しいと考えられる。

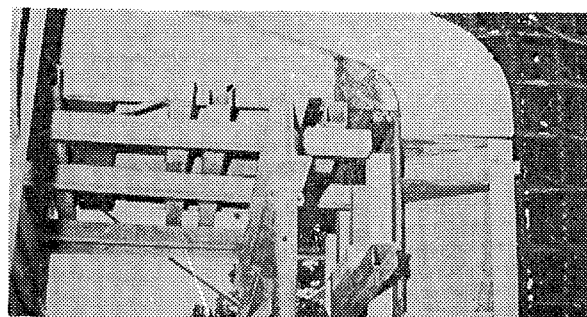
一方ガラスクロス類の積層による補強方法は、一応の補強効果が認められた。そこで、表一六脚注 \*3 に示す補強材効果の式を考え、これで表現すると、表一六の如くなるが、試験体 d-5~7 の比較によれば、同じ補強材使用量では、繊維布の形状による効果は、メッシュ、クロス、マットの順となることが判明した。また、被補強材であるレジンモルタルの強度が高いため繊維補強の効果はより多くの繊維を用いなければ、明確にはならないと考えられる。

### 3. 応用例

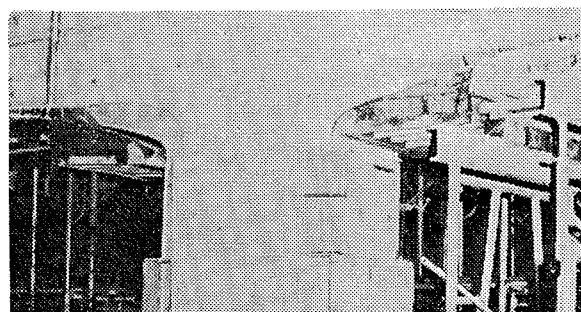
#### 3.1. コンクリート用曲面型枠としての応用

従来R. C. 用曲面型枠は、合板、F. R. P., 金属等を用いるのが普通であるが、剛性、コスト、型枠製作上の困難さなどの問題点がある。本素材による型枠は、

それらの問題点について十分対応できるものであり、軽量、転用回数が多い、離型剤を必要としないなどの長所がある。その上に、原型に用いた材料の表面状態を転写した型枠となるため、たとえば、合板型枠と併



写真一 UビルR. C. 柱頭部曲面型枠の取り付け



写真二 同上脱型後のR. C. 柱頭部

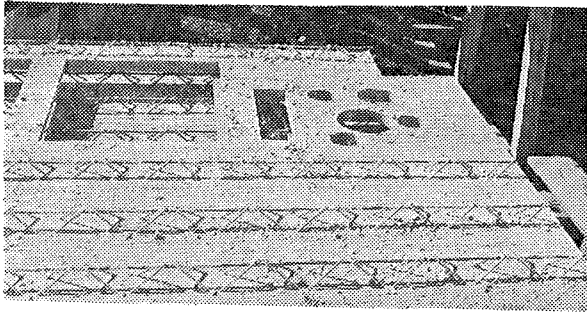


写真-3 オムニアスラブにスリーブ型枠を使用した例  
於 (株) ショックベトンジャパン

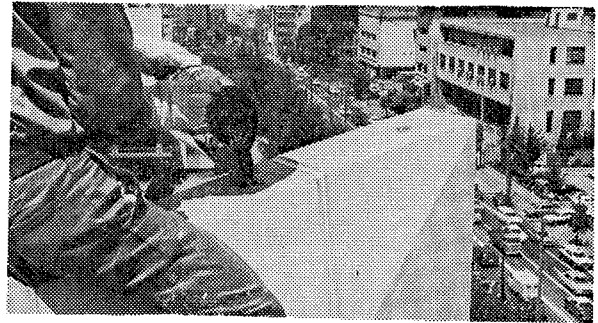


写真-5 Nビルテラコッタ補修

用する場合は原型を合板で作成すれば、コンクリート表面の異和感はない。現在のところR. C. 柱頭部の3次曲面部型枠、および、P. C. 板の設備開口部用スリーブ型枠として使用されている。

### 3.2. 破損部補修用材料としての応用 (エポキシ樹脂をマトリックスとして使用)

本応用例は、現在土木建築用接着剤として使用されているエポキシ樹脂にバルーンをフィラーとして用いる方法であり、こて塗り、注入等の在来の工法によりバルーン入りレジソルタルの特徴、たとえば、バルーンを多量に用いれば、重量増加なしにだれ止めとなる点、また、他のフィラーに比して、流動性に対して影響が小さい点を生かした施工が可能である。実施例として、R. C. 浮きさん橋垂直面破損部の補修 (だれ止め効果)、Oビルテラコッタ剝落防止補修、Nビル屋上パラペット老朽化テラコッタの脱落防止対策 (注入工法) などがある。

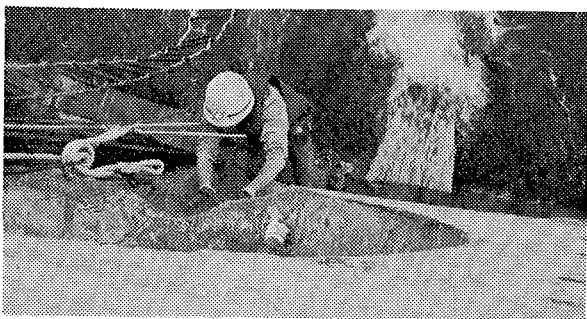


写真-4 R. C. 浮きさん橋垂直面破損部補修

## 4. あとがき

以上の検討結果および応用例により、この種のバルーンの建築用途への可能性が見出されてきており、その成果が得られつつある。さらに、現在以上のような有機質系バインダーの他に、水ガラス、セメント等の無機質系バインダーを用いた複合板についての検討を進めており、それらについては今後追って報告する予定である。

おわりに、本研究を行うにあたり、新田ベルト(株)渡辺卓二氏、清水肇氏、日立化成工業(株)永瀬昇三氏、(株)ショックベトンジャパン諸橋滋己氏、高須峯男氏、各氏より多大な御協力を受けました。ここに深い謝意を表わす次第であります。

## 参考文献

- 1) Koichi Masubuchi: MATERIALS FOR OCEAN ENGINEERING The M. I. T. Press 1970  
Hobaica, E. D., and Cook, S. D., The Characteristics of Syntactic Foams Used for Buoyancy Journal of Cellular Plastics, April 1968
- 2) 中川琢磨: シラスバルーンの有機複合材成形時の問題点, 1974. 2. 5. シラスバルーン応用開発成果発表会資料 (株)日本産業技術振興協会
- 3) Glass microspheres COMPOSITE March 1971
- 4) 滝山栄一郎: プラスチック材料講座(10) ポリエステル樹脂 日刊工業新聞社