

バガスを充てん材として用いた BMC の 射出成形技術の開発*

福本 功^{*1}, 黒木 義郎^{*2}
銘 苺 春 栄^{*1}, 中山 清 光^{*1}

Injection Molding of BMC-filled Bagasse Fiber

Isao FUKUMOTO, Yoshirou KUROGI,
Shunei MEKARU and Kiyomitsu NAKAYAMA

The strength of BMC using bagasse filler was experimentally investigated in relation to three factors, i. e., the shape, fiber length and amount (weight content) of bagasse. BMC (bulk molding compound) is composed of glass fiber, unsaturated polyester and filler. In this study the filler used is plant bagasse fiber. Bagasse is the refuse of sugar cane. Of significant interest is that the shape of bagasse fiber is needle like and it resembles glass fiber. This is an advantage to make bagasse tangle easily with glass fiber in kneading process, and is helpful for fixing the glass fiber to matrix during solidification. Therefore the bagasse fiber is effective in increasing the strength. Hence the mixture with bagasse and glass fiber is designed to tangle itself. As the content volume of bagasse fiber reaches 23% weight content, the tension strength shows the highest value. The magnitude of its strength depends essentially on the size of the bagasse fiber. Bagasse is found to be suitable as a filler for BMC.

Key Words: Sugar Cane, Bagasse, Plastics, Injection Molding, Plant, BMC, Strength, Experiment Planning Method, S/N Ratio

1. 緒 言

バガスとは、亜熱帯作物であるさとうきびのしぼりかすのことで、沖縄県ではさとうきびが基幹作物であることから、年間約40万トン排出されている。しかし、その利用は製糖工場におけるボイラーの燃料としての使用がほとんどであり、ほかには肥料、飼料、そのほか種々の利用法が模索されている⁽¹⁾⁽²⁾。

BMC (Bulk Molding Compound) はガラス繊維に不飽和ポリエステル、さらに副資材から構成されているが⁽³⁾、本研究では植物繊維であるバガスを充てん材に適用した場合の可能性について検討を行った。射出成形は、金型次第では複雑な形状も加工が可能であり、また生産形態も多品種変量生産に適していることから、付加価値の高い成形材が得られる。また充てん材の利用としてのポイントは、増量材と粘性の調節作用があるが⁽⁴⁾、バガスは植物繊維であることから軽い、さらにバガス内部が空洞部になっていることからそこへ不飽和ポリエステルを浸透させる度合により粘性の

調節が可能であると思われる。

本研究は、バガスの有効利用を図る目的でなされており、特に粉砕されたバガスの形状がガラス繊維と類似した針状を呈していることから、ガラス繊維とのなじみやすさの特性を利用して、成形材の機械的強度の向上の観点から BMC への適用を試みている。そこで、バガスの含有量、形状および大きさを種々変化させ、さらに混練条件、成形条件が機械的の特性の一つである引張強度にどのような影響を与えるか検討を加えた。さらに、その結果を基にして、実験計画法⁽⁵⁾および S/N 比解析を用いて引張強度の向上へ影響を与える因子について検討を行ったので報告する。

2. バ ガ ス

バガスは製糖工場における排出時では図1に示す束状の形状(A)を示しているが、粉砕機での粉砕後は針状(B)へと変化しており、この形状がガラス繊維と酷似している。このことは、混練の際バガスとガラス繊維とのなじみ、つまり繊維をからませるには有利になることを示している。そこで、バガスの断面形状を調べるために、1本のバガスを引きちぎった時の断面(C)と側面(D)を顕微鏡(SEM)で観察を行った。その結果、バガス断面は蜂の巣状(ハニカム)の空洞部から

* 平成3年11月16日 熊本地方講演会において講演、原稿受付 平成4年7月8日。

^{*1} 正員、筑球大学工学部(〒903-01 沖縄県中頭郡西原町字千原1)。

^{*2} 学生員、琉球大学大学院。

なっており、さとうきびはこの空洞部にきび汁を含浸していると思われる。そこで、写真撮影で得られた図 1(C)より、断面における空洞部の占める割合を面積比率で算出すると約 75%であることが認められた。

3. 実験装置および方法

3.1 混練 BMC は不飽和ポリエステル樹脂にガラス繊維および充てん材にバガス、触媒としてパーブチル Z、そして滑剤としてステアリン酸亜鉛を用いる。まず射出成形に先だって、BMC の混練を行う。混練には図 2 に示す双腕形のニーダを使用する。

混練方法は、まず不飽和ポリエステル樹脂に触媒を添加し 5 分間、次に滑剤を添加し 5 分間、さらに充てん材を添加し 10 分間、最後に強化材を徐々に添加し、その後 30~270 分の範囲で混練を行い BMC を作製した。なお、配合比については、表 1 に示す重量比で種々に変化させた。

3.2 射出成形 射出成形はプランジャータイプの横形の成形機⁽⁴⁾を試作し BMC の射出成形を行った。成形条件は射出圧力が 5.9~19.6 MPa、金型温度は 100~200°C、保持時間は 3~15 分の範囲で行った。その後、成形材は引張試験を行う。なおその際の引張速度は 0.5 mm/min とした。

4. 実験結果と考察

4.1 成形条件が成形材の引張強度に及ぼす影響

BMC の射出成形における成形材の強度に影響を与える因子としては、混練条件ならびに成形条件があるがまず射出圧力に着目して検討を行った。図 3 に射出圧力と強度の関係を示す。図より、射出圧力 10 MPa までは引張強度は上昇しているが、その後は急激に低下する傾向となっている。これは 10 MPa までは充て

ん密度を高めるのに射出圧力が貢献していると思われるが、それ以上の射出圧力は逆にガラス繊維を破損することになりマイナス効果となる。

そこで、射出圧力を一定にしておき、ほかの因子が強度に及ぼす影響を実験計画法の L₄ 直交表を用い検討を行った。まず、引張強度へ及ぼす成形条件の因子として混練時間、金型温度、金型保持時間の 3 因子をとり、水準は大小の 2 水準とした。なお繰返し数は 2 回とした。その結果を表 2、表 3 に示すが、F 検定 (危険率 1%) の結果はいずれの因子も有意となり、それぞれの因子の寄与率は、混練時間が 67.30% と最も高く、金型の保持時間が 18.44%、金型温度が 10.16% と続いている。これは、バガスの内部が空洞になっていることから、混練によってバガス内部に不飽和ポリエステルをいかに浸透させるかがポイントであることを示している。

そこで、混練時間が引張強度に及ぼす影響について検討を行った。なおその際の材料の配合比は、重量比

表 1 混合比

Material	(wt%)
Unsaturated polyester	80.7~60.0
Glass fiber	6.1~12.3
Bagasse	12.3~33.0
Catalyst	0.3~0.6
Lubricant	0.6~1.2

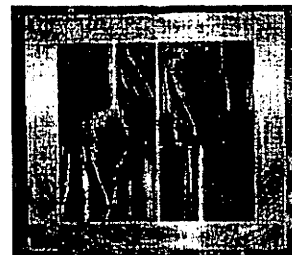


図 2 混練機

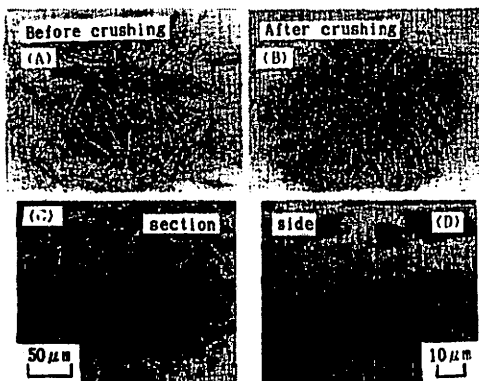


図 1 バガス

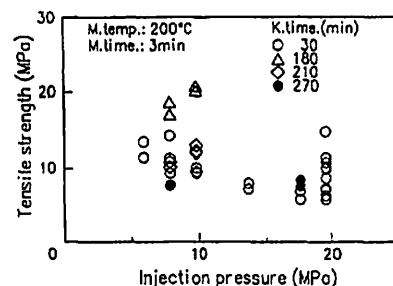


図 3 射出圧力と引張強さの関係

で不飽和ポリエステル 65.0, ガラス繊維 12.0, バガス 21.0, パープチル Z0.5, それにステアリン酸亜鉛 1.0% とした。図 4 に混練時間と引張強度との関係を示す。混練時間が長くなるに従って、成形材の引張強度は高くなり混練時間が 210 分でピーク値をとるがその後減少する。これは、バガス内部に液状の不飽和ポリエステルを含浸させるのに十分な時間が必要であることを示し、さらにガラス繊維との濡れ性や親和性などが関係していることをも示している。さらに、240 分混練での成形材の強度は低下しているが、これはガラス繊維が破損したためと思われる、最適な混練時間が存在することを示している。

そこで、成形の引張強度の高い場合と低い場合における破面の状態を図 5 に示す。まず、強度の低い場合は、混練時間の短い場合が相当するが、破面の観察ではバガス繊維とガラス繊維が個々に分散し、かつバガス内部の様子を拡大して観察すると空洞部はそのまゝの状態が存在し、引張試験においてはその部分が欠陥部として作用したと思われる。しかし、混練が十分なされると、バガス繊維とガラス繊維のなじみが十分であり、かつバガス内部への不飽和ポリエステルの浸透も十分であることから強度は向上するものと思わ

れる。

次に、金型温度および金型保持時間が成形材の強度にどのように影響を与えるか検討した。図 6 は保持時間を一定にして、金型温度を変化させた場合を示す。図より、金型温度が高くなるにつれて、引張強度は低下する傾向を示している。この原因としては、温度が高くなると成形材が茶褐色を呈していることから、植物繊維であるバガスの材料としての性質が劣化し、さらには焦げるなどの材質劣化の影響のためだと思われ

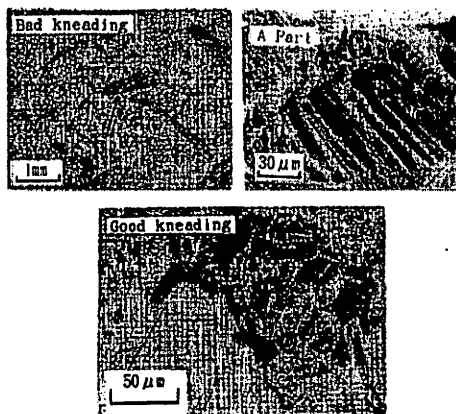


図 5 破断面の SEM 観察

表 2 L₄直交表

No.	Knead. time (min)	Hold temp. (°C)	Hold. time (min)	Ten. strength (MPa)
1	30	150	3	13.6, 12.2
2	30	200	15	6.7, 5.7
3	180	150	15	15.9, 16.7
4	180	200	3	18.2, 16.3

Injection pre.: 7.8MPa

表 3 下検定

No.	Factor	F value	Contribution(%)
1	Kneading time	115.84 **	67.30
2	Molding temp.	18.34 **	10.18
3	Holding time	32.47 **	18.44
	Another factor	-	4.10

** Significant(1%)

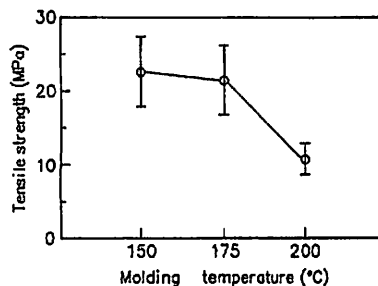


図 6 金型温度と引張強さの関係

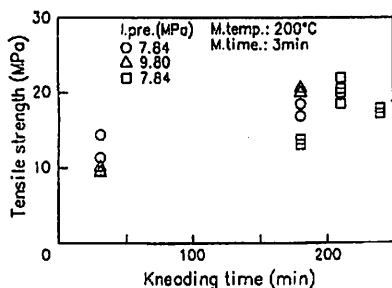


図 4 混練時間と引張強さの関係

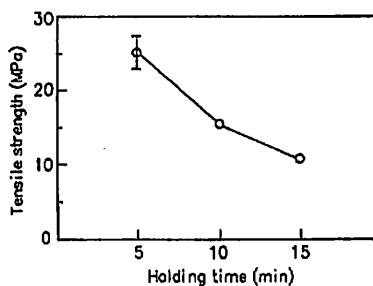


図 7 金型保持時間と引張強さの関係

る。そこで、金型温度を 150°C と一定に設定し、金型の保持時間を種々変化させ、引張強度への影響を調べた。その結果を図 7 に示す。図より、保持時間が長くなっても強度は低下する傾向にある。不飽和ポリエステルは熱硬化性であることから、硬化するのに最低必要なエネルギーがあれば十分であると思われ、それ以上のエネルギーはバガスの焦げ付きの進行を助長させ強度低下を招く。

4.2 バガス含有量が引張強度におよぼす影響

バガスは本研究では充てん材として用いているが、強度の向上にも寄与しているかを知るため、表 4 に示す L_8 直交表を用いて検討を行った。その結果を分散分析した結果を表 5 に示す。ガラス繊維が強度に寄与するのは当然としても、バガス繊維も強度の向上に寄与するかどうかに対し F 検定の結果、有意(危険率 1%)であることが明らかとなった。これはガラス繊維を固定、あるいははからませるのにバガスの針状の形状が火いに関係していることを示している。

さらに、表 6 に示す因子および水準の設定を行い、S/N 比を用いての解析結果を図 8、図 9 に示す。

なお S/N 比(デシベル)の算出は次式⁽¹⁾を用いて算出した。

$$\eta = -10 \text{Log } \sigma^2 \dots \dots \dots (1)$$

ただし σ^2 は分散で

$$\sigma^2 = (Y_1^2 + Y_2^2 + \dots + Y_n^2) / n \dots \dots \dots (2)$$

表 4 L_8 直交表

No.	Mixing ratio(Wt.%)					Injec. pre. (MPa)	Ten. strength (MPa)
	UP	GF	B	PBZ	SA		
1	78.5	10.0	10.0	0.5	1.0	7.8	18.0, 12.1
2	78.5	10.0	10.0	0.5	1.0	7.8	14.9, 12.1
3	65.5	10.0	23.0	0.5	1.0	14.7	22.1, 22.0
4	65.5	10.0	23.0	0.5	1.0	14.7	23.2, 22.5
5	73.5	15.0	10.0	0.5	1.0	9.8	27.3, 28.6
6	73.5	15.0	10.0	0.5	1.0	9.8	28.7, 23.7
7	60.5	15.0	23.0	0.5	1.0	19.6	30.5, 26.3
8	60.5	15.0	23.0	0.5	1.0	19.6	27.9, 28.9

Kneading time : 180min
Holding temp. : 150°C
Holding time : 5min

表 5 下検定

No.	Factor	F value	Contribution(%)
1	GF content	46.99 **	63.83
2	Bagasse content	12.06 **	15.35
	Another factor	-	20.82

** Significant(1%)

表 6 因子と水準

Factor	Level	
	1	2
GF	24.9	28.2
B	25.7	28.0

(Unit: db)

Y_n : データ n : データ数

その結果、図 8 から成形材の強度はガラス繊維の量が多くなるほど、さらに図 9 からバガス繊維も量が多くなるほど、強度は向上する傾向を示していることがわかる。そこで、具体的にバガスの含有量がどの程度強度に寄与しているかを知るため、ガラス繊維の含有量を 10% と一定にし、バガス含有量を変化させたときの引張強度との関係について検討を行った。その結果を図 10 に示すが、バガス繊維が増加するにしたがって強度は増加し、23% で最も高い強度を示すが、その後は減少する。バガス繊維が少ない場合は BMC の粘性が低下し、成形材にバリの発生が多くなり成形材の

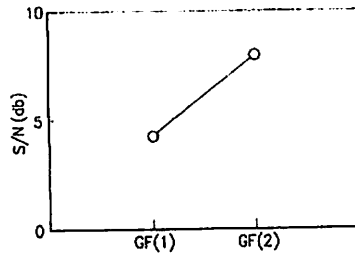


図 8 ガラス繊維と S/N 比

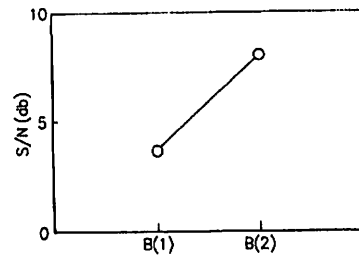


図 9 バガスと S/N 比

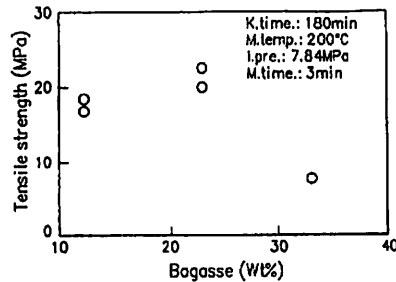


図 10 バガス含有量と引張強さの関係

品質としてはきわめて悪い。それに対し、バガス繊維が多くなると不飽和ポリエステルがバガス繊維に十分ぬれしかも含浸するため、良好な粘性となり良好な成形材が得られる。例えば 23% のバガス含有量 BMC は定性的には糸を引いたような粘性を示し、この状態が最も良好だと思われる。しかし、23% を過ぎると逆にバガス繊維に対し不飽和ポリエステルが不足している状態を示し、手で触るとパサパサしている状態である。

そこでバガス含有量が 23% のときは、不飽和ポリエステルは重量比で 65.5% であることから、約 1:3 の割合が混練に際しての最適な混合比だと思われる。すなわち、バガス内部は空洞部であることから、そこへ不飽和ポリエステルを効果的に浸透させる量が最適だと思われる。すなわち、不飽和ポリエステルは多すぎても、少なすぎても強度の低下を招く。つまり、含浸する不飽和ポリエステルと空洞部の体積が等しいときが最適な状態と思われる。そこで、バガスの比重は 0.3⁽³⁾、不飽和ポリエステルの比重は 1.2⁽⁴⁾ であることから、バガスの重量を W_1 、不飽和ポリエステルの重量を W_2 とする。そこで、バガス空洞部の体積を V_1 、不飽和ポリエステルの体積を V_2 とすると、

$$V_1 = W_1 / 0.3 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$V_2 = W_2 / 1.2 \quad \dots\dots\dots (4)$$

いまバガスにおける空洞部の占める割合を α とすると、次式が成り立つ。

$$\alpha V_1 = V_2 \quad \dots\dots\dots (5)$$

よって

$$W_1 / W_2 = 0.3 / (1.2\alpha) \quad \dots\dots\dots (6)$$

そこで、バガスは細長い形状であり、かつ空洞部も細長く伸びていることから、長手方向の単位長さを考慮すると、バガス断面における空洞部の占める面積比 (α') で置き換えることができ、バガス断面の写真撮影から空洞部を実測できる。

したがって、 $\alpha = \alpha' = 0.75$ とすると

$$W_1 : W_2 = 1 : 3 \quad \dots\dots\dots (7)$$

の関係が得られる。

4.3 バガス形状が引張強度に及ぼす影響 バガス繊維とガラス繊維の形状がいずれも針状の形状をしていることから、バガス形状に着目し、引張強度に及ぼす影響をバガスの形状が粉末と針状繊維の場合とで比較検討した。そこで、自動ふるい機によって粉碎されたバガスを種々のメッシュに分類した。その結果を図 11 に示す。図から明らかなようにメッシュ #48 を境にして、粉碎されたバガスの形状は繊維質と粉末とに大きく分類することができる。そこで、#48 から #200 を粉末バガス (繊維長さ 0.30 mm 以下)、#6 から #35 までを繊維バガス (0.81 mm 以上) とし、それぞれのバガス形状に着目して成形材の引張強度の比較を行った。その結果を図 12 に示す。繊維バガスは粉末バガスに比較して約 2 倍の強度を示す。これは、充てん密度から考えると、粉末バガスが高いと思われるが、

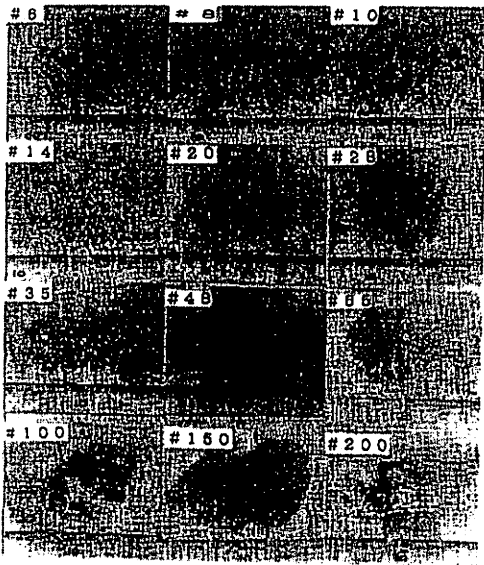


図 11 メッシュ分けされたバガス

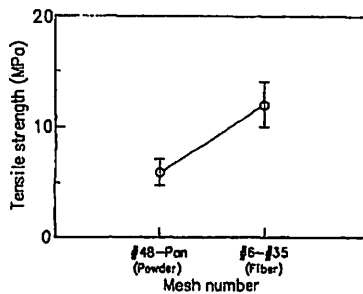


図 12 バガス形状が引張強さに及ぼす影響

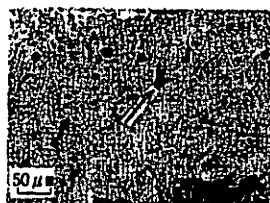


図 13 破断面の SEM 観察

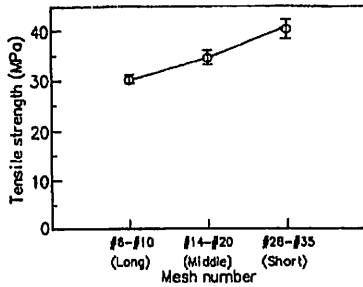


図 14 バガス繊維長さが引張強さに及ぼす影響

直接的に強度向上に関係するのはガラス繊維であることから、バガスはガラス繊維と形状がいずれも針状であることから、ガラス繊維とのなじみあるいはからみに相互作用がありガラス繊維の固定に寄与しているためと思われる。それに対して、粉末バガスでは繊維長さが0.3 mm以下と非常に細かいため、バガスの針状の形状特性が発揮されず、粒状の挙動を示したものである。

次に、粉末バガスの引張破断面の観察を図 13 に示す。図よりガラス繊維がはく離して抜けた穴のようすが観察され、これは充てん材のバガスとガラス繊維のからみあるいはなじみが不十分のためガラス繊維の固定が完全でないことを示している。このことが、粉末バガスにおける強度低下の大きな原因と思われる。

4.4 バガスの大きさが引張強度に及ぼす影響

繊維質バガスはいずれも針状の形状を呈していることから、直径はほぼ等しいと仮定し、繊維長さを変化させた時に、成形材の強度がどのように影響を受けるかについて検討を行った。そこで、バガスの繊維長さを#28 から #35 までを短繊維 (平均長さ 2.1 mm 程度)、#14 から #20 までを中繊維 (平均長さ約 5.3 mm) および #6 から #10 までを長繊維 (平均長さ 10.8 mm 程度) の 3 グループに分類した。それぞれのグループにおける成形材の引張強度を図 14 に示す。なおこの場合は、バガス含有量を 23% とした。図より、繊維長さが短くなるにつれて引張強度は高くなる傾向にある。これは、長繊維になるにつれて、不飽和ポリエステルがバガス内部に浸透するのがむずかしく、空洞部がいくらか残るため強度低下を招くと思われる。それに対し、短繊維になると不飽和ポリエステルは内部まで十

分浸透しかつガラス繊維をからませるのに効果的な役割を果たしていると思われ、バガスの短繊維は強度向上に二次的な役割を果たしていると思われる。すなわち、混練後のガラス繊維の長さは 1.8 mm 程度⁽³⁾ になっていることから、ガラス繊維とバガスの短繊維の長さはほぼ等しくなっており、混練の際ガラス繊維にバガスがからみつくのに効果があると思われる。また従来 BMC の充てん材として炭酸カルシウムが用いられているが、それと比較すると本実験と同様なガラス繊維を同程度含有している場合の成形品の引張強度は 28 MPa⁽⁴⁾ であるのに対し、短繊維バガスを用いた成形品の強度は約 40 MPa と特に高い値を示し、強度の向上に極めて有効であることがわかる。

5. 結 言

植物繊維であるバガスを BMC の充てん材として用いることが可能かどうか検討を行った。その結果、ガラス繊維が 10% の範囲ではバガス繊維を 10~23% の範囲での使用が可能であり、充てん材としての利用はきわめて有望であると思われる。その際、バガスの内部は空洞部になっていることから、不飽和ポリエステルをいかに含浸させるかがポイントである。そのためには、混練条件、成形条件を最適条件に選ぶ必要がある。最後に、本研究を進めるに当たり、大阪大学工学部藤原順介講師の御協力をいただいた。さらに装置の製作にあたっては琉球大学工学部石川勇、比嘉寛両技官さらに多くの方々と卒研生の協力を得た。また材料の提供として不飽和ポリエステル樹脂は日本ユビカ(株)、バガスは第一製糖(株)、バガスの粉碎は沖縄県工芸指導所の協力を得た。また研究を進めるに当たり宇流麻学術助成金の補助を得た。ここに記して謝意を表す。

文 献

- (1) 平塚・銘研, バガス粉末の圧縮成形加工, 琉球大学理工学部紀要工学篇, 6(1973)17.
- (2) 比嘉, バガス漆器素地の圧縮成形加工に関する研究, (1982), 81, 沖縄県工芸指導所.
- (3) 藤原, BMC の射出成形に関する基礎的研究, 学位論文(大阪大学), (1978), 60.
- (4) 強化プラスチック協会, FRP 入門(新版) (1987), 44.
- (5) 田口, 実験計画法, (1976), 143, 丸善.
- (6) 田口, 品質評価のための SN 比, (1988), 80, 日本規格協会.