

# 気球製作用バンドシーラ

前川 仁・藤井正美・岡部選司

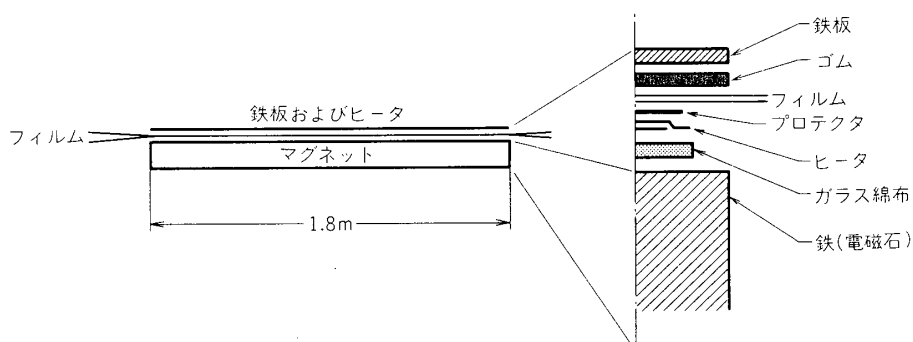
## 1. 概要

現在気球製作に使用されているマグネット圧着式接着器 [1] は、これまで放球されてきた多数の国産気球によってその接着性能が実証されている。ただ、この接着器は、操作性、製作速度といった点に若干の問題があることが指摘されてきた。これらの点は、近年気球の大型化にともなって次第に重要な問題となってきた。

この点を解決する接着方式として種々のものが提案されている。その中で特にバンドシーラについての検討を行ってきた。本稿ではそのヒータ性能、フィルム接着性能などについて検討した結果を述べる。

## 2. マグネット圧着式接着器とバンドシーラ

現在実用になっているマグネット圧着式フィルム接着器は、1960年(昭和35年)に核研において開発されたものである [1]。その構造の概略を第1図に示した。



第1図 マグネット圧着式フィルム接着器

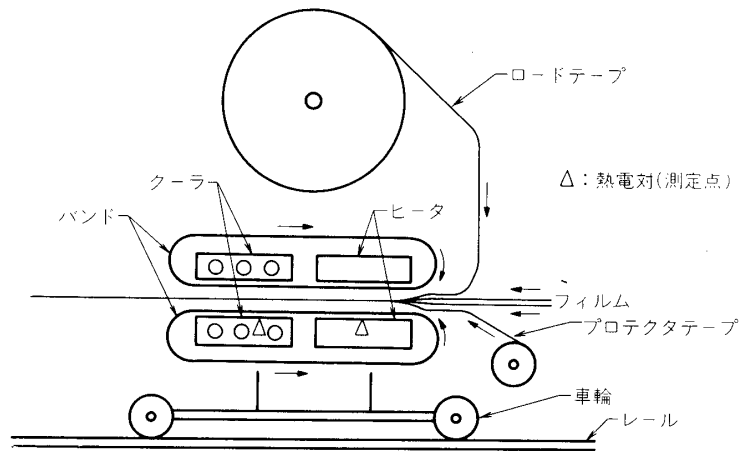
動作は、まず電磁石と鉄板でフィルムを圧着しておき、次にヒータにある時間通電して加熱接着する。そのあと電磁石には通電したままヒータを切りしばらく冷却する。ヒータ通電時間は約6秒、冷却時間は5~10秒というのが通常の値である。

問題は、電磁石(マグネット)で圧着する前に1スパン(1.8m)分のフィルムを揃えなければならないという点である。小型気球でフィルムが少ない場合はあまり問題はないが、気球が大型になるにつれフィルム量は増大し、この作業は困難になってくる。

フィルムを揃えるのに要する時間を1分とすると、接着速度は毎分約1.4mとなる。

これに代わるものとして検討してきたバンドシーラの構造を第2図に示した。これは、本体、車輪およびレール、ロードテープ用リール台から成っている。

本体は Dobby 社製の接着器 HS-C で、この電氣的結線図が第3図である。テフロンコーティングされたステンレスバンドがヒータとクーラに接して回転するようになっている。フ



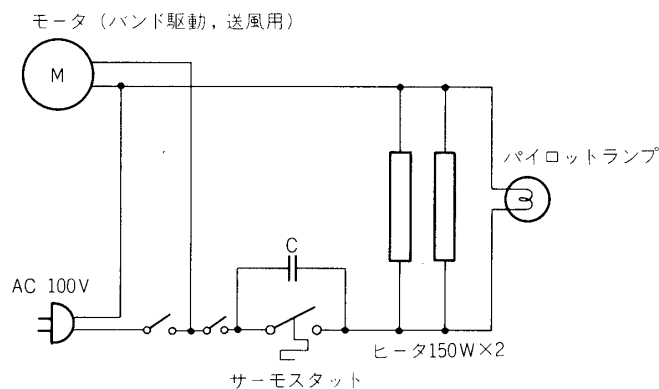
第2図 バンドシーラ概念図

フィルムは、ロードテープ、プロテクターテープとともに上下のバンドにはさまれ、加熱接着および冷却される。フィルムとバンドの摩擦でこのシーラはレールの上を自走する。したがって長所として次の各点

- (1) 連続的に接着できる。接着速度は結局バンドの回転速度になる。すなわち毎分約5 mで、マグネット圧着方式の約3倍である。
- (2) 操作が簡単である。すなわち、フィルムを揃えるのは原理的にはヒータに入る直前だけで良い。
- (3) ヒータとフィルムの上にステンレスのバンドがあるために、温度分布はなめらかな曲線となり、しかも圧力は高温部以外の広い面に平均的にかかるため、接着面の境界（エッジ）に段差を生じない。
- (4) ロードテープを自動的に供給しながら接着できる。

をあげることができる。

以下その性能についてくわしい検討を行った。



第3図 シーラ結線図

### 3. ヒーターの性能

#### 3.1 温度安定性

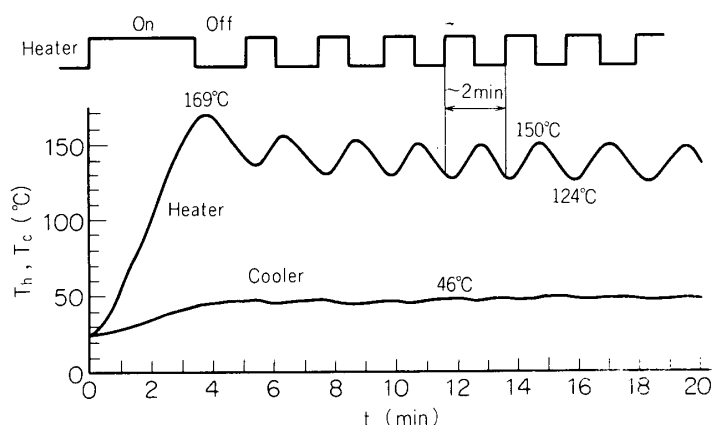
この接着器では、第3図に示したようにサーモスタットのオン・オフで温度制御を行っている。温度制御はサーモスタットのノブの回転で行うことができる。

このヒータの温度安定の実測結果を第4図に示した。

温度測定にはクロメル-アルメル熱電対を使用した。測定箇所は第2図に示したようにヒータ中央部、クーラ中央部（ともにバンドに最も近い点）の2点である。

まずバンドは回転させ、フィルムは供給せず無負荷で測定した。上下のバンド間のギャップは、接着実験との関連から $150\mu$ に調整した。

第4図によると、設定温度 $137^{\circ}\text{C}$ に対し、変動幅は $\pm 13^{\circ}\text{C}$ 、振動周期は約2分で、この状態に達するまでに電源投入後10~15分を要した。



第4図 ヒータの温度安定性（無負荷，室温 $15^{\circ}\text{C}$ ）

このような変動幅は主としてサーモスタットのヒステリシスによるものであることは明らかである。したがってこの幅を小さくするにはヒステリシスの小さいサーモスタットを選べば良い。温度制御は他にいろいろ考えられるが、この方法が最も簡便であると思われる。

しかしながら、どの程度の温度が許されるかは後述する接着性能との関係できめる必要がある（4.3参照）。

#### 3.2 ヒーター電力

この接着器のヒーター電力は第3図に示したように $150\text{w} \times 2$ である。フィルムの種類によって接着温度が異なるので、それぞれのフィルムの接着に必要なヒータの電力について検討する。

第2図に示したように、ヒータ及びバンドは上下に付いているので、以下フィルムも上下対称の場合を考え、片側のヒータについて考察を行なうこととする。

フィルムの熱容量を $c$  [ $\text{J}/\text{gr}^{\circ}\text{C}$ ]、密度を $\rho$  [ $\text{gr}/\text{cm}^3$ ].

移動速度を $v$  [ $\text{cm}/\text{sec}$ ]、加熱される部分の幅を $d$  [ $\text{cm}$ ]、厚さを $t$  [ $\text{cm}$ ]、周囲温度から測った温度上昇を $\theta$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]とすると、フィルムの加熱に要する熱量 $Q_1$ は

$$Q_1 = c \rho d t v \theta \quad (1)$$

である。また、ヒーターとバンドを含めた熱損失に対する等価的な表面熱伝達率を  $\alpha$  [J/cm<sup>2</sup>°C sec]。これらの表面積を  $S$  [cm<sup>2</sup>] とすると、毎秒空气中に失う損失熱量  $Q_2$  は

$$Q_2 = \alpha S \theta \quad (2)$$

である。従って、定常状態を考えた場合のヒーターに要求される電力  $P$  [w] は、

$$\begin{aligned} P &= Q_1 + Q_2 \\ &= (c \rho d t v + \alpha S) \theta \end{aligned} \quad (3)$$

となる。

ここで表面熱伝達率  $\alpha$  は物性値ではないので、実験的に求める必要がある [2]。第4図から、無負荷 ( $t=0$ ) のとき、設定温度 137°C に対しサーモスタットのヒーター on-off の割合はほぼ 0.5 であることがわかる。すなわちヒーターの有効電力は 75 w である。室温 15°C からの温度上昇は 122°C であり、(3) 式から

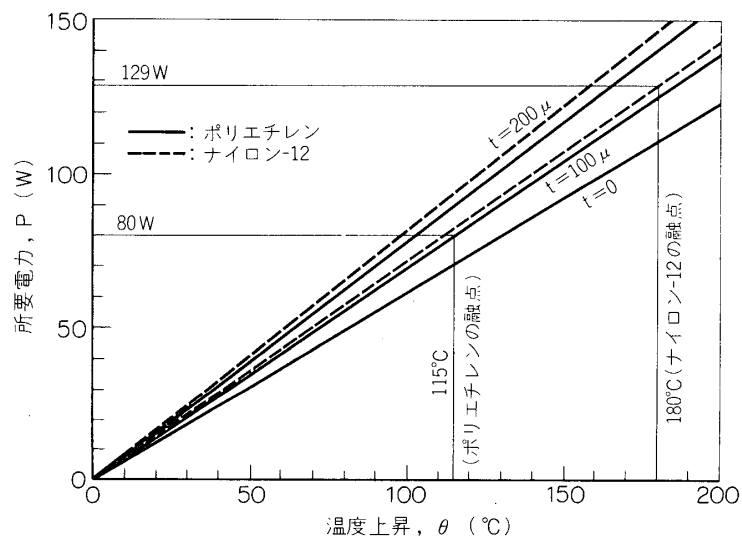
$$\alpha S = 0.615 \text{ [J/sec } ^\circ\text{C]} \quad (4)$$

となる。

気球用フィルムとしては、ポリエチレンフィルムの他にナイロン-12フィルムが考えられる。これらの融点、密度、比熱は第1表にまとめて示す [3]。

第1表 ポリエチレンおよびナイロン-12の物性値 [3]

樹脂名	融点 [°C]	密度 [gr/cm <sup>3</sup> ]	比熱 [J/gr°C]
ポリエチレン	105 ~ 115	0.92 ~ 0.93	2.31(20°C) 2.94(120 ~ 140°C)
ナイロン-12	175 ~ 180	1.01 ~ 1.02	2.60



第5図 ヒータ温度上昇と所要電力

フィルムの移動速度  $v=7.8\text{cm/sec}$  (実測), (4)式の  $\alpha S$  の値, 第1表のフィルムの物性値を, (3)式に代入するとヒータの温度上昇と電力の関係が求まる. フィルムは幅  $d=5\text{mm}$  にわたって均一に加熱されるものとして, フィルムの厚さを  $t=0, 100\mu, 200\mu$  の場合の結果を第5図に示した.

フィルムを接着するには, 融点以上に加熱する必要があるが, 第5図によると  $100\mu$  のポリエチレンフィルムを接着するのに要する電力は  $80\text{w}$ , ナイロン-12の場合は  $129\text{w}$  である.

なお計算にあたって, ヒータの温度は  $0^\circ\text{C}$  から上昇としたので, 実際のフィルム温度は室温だけ高くなることになり, 上に述べた電力より  $10\text{w}$  程度少ない電力で接着できることになる.

しかしフィルムを熔融接着する場合には, 樹脂の融解熱を考える必要があるが, (3)式にはこれが入っていない. 低密度ポリエチレンの融解熱は  $187[\text{J/gr}]$  であるから[4], このバンドシーラで  $100\mu$  のポリエチレンを接着する場合, さらに  $7\text{w}$  程度の電力を加える必要がある. ナイロン-12の融解熱はデータがなかったが, ナイロン-6の融解熱( $57\text{J/gr}$ )から推定して, さらに加えるべき電力は  $2\sim 3\text{w}$  と考えられる.

また(3)式では比熱を一定としたが, 実際は比熱の値が温度と共に増加するので  $100^\circ\text{C}$  以上のところでの必要電力はさらに数  $\text{w}$  程度大きくなる.

以上, 室温による温度上昇分と, 融解熱および比熱の温度変化による必要電力を考慮に入れると, 結局第5図は接着温度と必要電力の関係を示すものと考えても実用上は問題がない. この結果, 気球製作に現在使用されているポリエチレンとナイロン-12に関するかぎり, このバンドシーラの電力は十分である.

## 4. フィルム接着性能

### 4.1 フィルムの温度分布

この接着器ではヒータが直接フィルムに接するのではなく, 間にステンレスバンドがある. このために, フィルムの接着幅方向の温度分布はなめらかになっていることが予想される. この実測結果が第6図である.

フィルム温度の測定は  $100\mu\phi$  のクロメル-アルメル熱電対をポリエチレンフィルムにはさみ, バンドの間を走らせることによって行った.

ここではヒータ温度の設定は  $170^\circ\text{C}$  であるが, 設定温度が上昇すれば第6図の曲線も上方へ移動し, フィルム接着限界温度で決まる接着面の幅も広がることになる. 同様に, 設定温度が下がれば接着面の幅は狭くなる.

### 4.2 ヒータ温度とフィルム温度の対応

実際にフィルムを接着していく場合, フィルム温度を測定することは困難である. したがってそのフィルムの温度を知りたい場合は, ヒータ温度, あるいは接着面の幅などから推定しなければならない. そのためにヒータ温度とフィルム温度の対応を測定した結果が第7図である. パラメータとしてヒータ中心から幅方向への距離をとってある. また, 熱伝導方程式は線型であるから, 常温でヒータとフィルムの温度が同一になるような直線を引いた.

同図中, 縦の短い線分は, ヒータ温度とそのとき接着したフィルムの接着面の幅の実測結

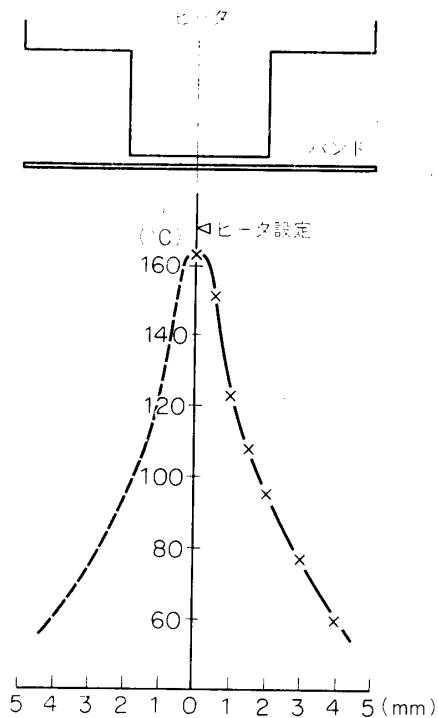


図6 フィルムの温度分布

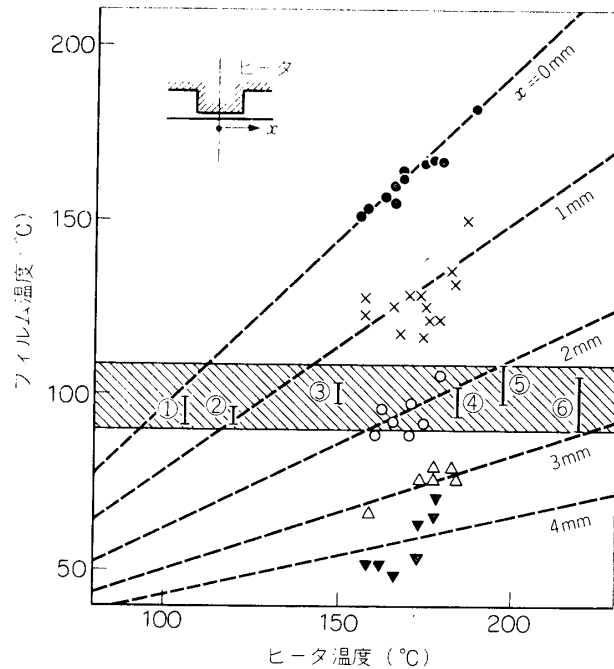


図7 ヒータの温度とフィルム温度の対応

果を示している。たとえば、ヒータ温度が198°Cのときは、接着された面の幅の実測値は4～5mmであったので、ヒータ中心からの距離としては2～2.5mmとなる。したがってこれは図中⑤の線分で表わせる。

このように表わした場合のフィルム温度を読むことにより、フィルム接着の限界温度を知ることができる。第7図に示したように、各データ(①～⑥)ともほぼ一定の100°C付近にあることから、接着限界は約100°Cであるのがわかる。これはポリエチレンの融点105～115°Cとほぼ一致している。このことは接着面の幅からヒータ温度およびフィルム温度を推定することが可能であることを示している。

### 4.3 フィルムの接着強度

#### (1) 接着強度

フィルムの接着強度に影響する要因としては、温度・圧力・フィルム材質・プロテクタテープ材質などがある。この実験で接着したフィルムは、気球材料として標準的なSF19μ(ウインゼン社製ストラトフィルム)である。

バンドシーラではこれを2枚、両側から80μのポリエチレンのプロテクタテープではさんで接着した。バンドシーラは前述のように、バンドとフィルムの摩擦でフィルムをヒータの間に連続的にはさみ込みながら接着していく方式である。従って圧力を大幅に変えると良好な接着が行なえない。

この圧力を決めているのは、ヒータのおさえばねと、上下ヒータ間のギャップである。こ

第2表 接着条件と接着強度

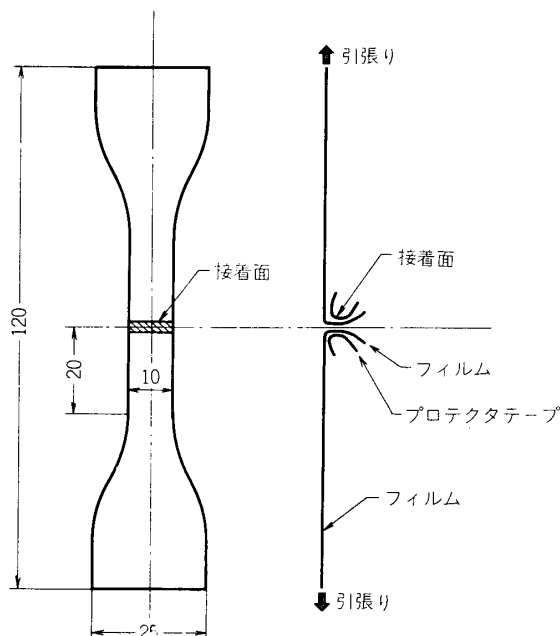
条件	接着器	フィルム	プロテクタテープ	ヒータ
A	バンドシーラ	SF 19 $\mu$	両側 80 $\mu$	ギャップ 150 $\mu$
B	マグネット圧着式	"	両側 80 $\mu$	18 A 6秒
C	"	"	片側 40 $\mu$	18 A 6秒
D	"	"	両側 19 $\mu$	12.5 A 6秒

の接着器HS-Cの説明書によると、全フィルムの厚さの75%にするよう指定されている。全フィルムの厚さは19 $\mu$ ×2(フィルム)と80 $\mu$ ×2(プロテクタテープ)のほぼ200 $\mu$ であるので、ギャップを150 $\mu$ とした。このときの圧力をバネの強度から計算すると約23 gr/cm<sup>2</sup>である。

他方比較のために行なった従来のマグネット圧着式接着ではフィルムは同じSF 19 $\mu$ を用い、プロテクタテープのつけ方は次の三通りについて行なった。

第1はバンドシーラの場合と同じでフィルムの両側から80 $\mu$ のプロテクタテープではさむ方法。第2は従来の気球製作に使われてきたヒータの当る側だけ40 $\mu$ のテープを敷く方法。第3はフィルムの両側から、フィルムと同じ19 $\mu$ のテープを当てる方法である。これらの接着条件は第2表にまとめて示した。

以上のようにして接着したフィルムから第8図のような試験片を切り出し、引張り試験器(島津 AUTOGRAPH IM-100)で接着強度を測定した。引張り速度は200 mm/分とした。



(単位: mm)

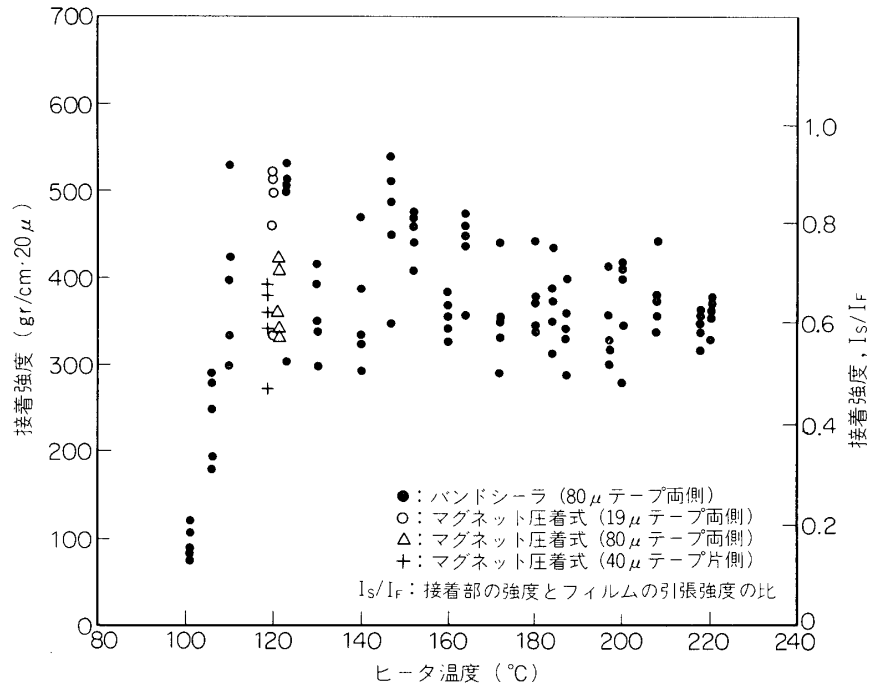
第8図 引張り試験用サンプル形状

接着強度の測定結果は第9図に示した。バンドシーラの場合は、ヒータ温度を100℃から220℃まで変化させて、温度と接着強度の関係を示してある。マグネット圧着式接着の温度は約120℃で一定であるが、プロテクタテープにそれぞれ19 $\mu$ 、40 $\mu$ 、80 $\mu$ 厚のポリエチレンフィルムを使った場合の接着強度を示してある。

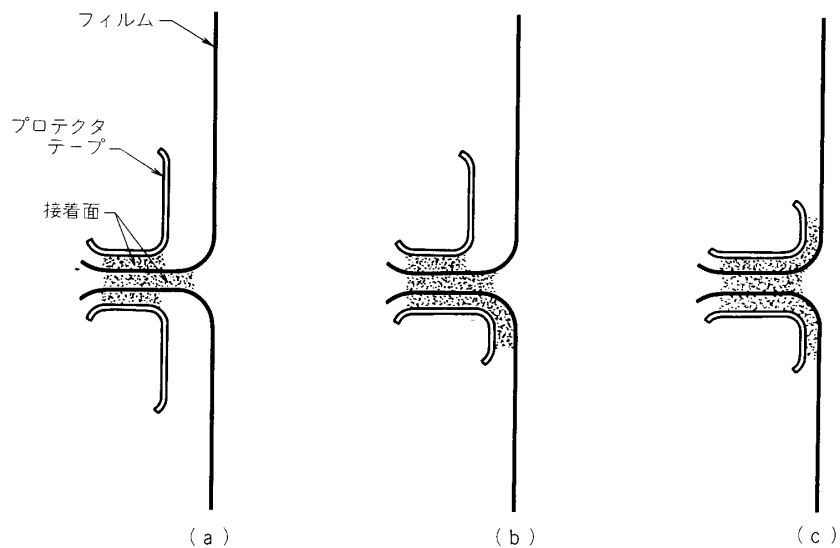
この図によると、バンドシーラの接着性能は従来のマグネット圧着式接着器に劣らないことがわかる。また温度による接着強度の変化は、測定値にばらつきがあるが、ポリエチレンフィルムに関するかぎり、110℃から170℃位まで問題にならないように見える。すなわち、この範囲であるかぎり、ヒータの

温度変動は一応許容できる。しかしナイロン-12などのように融点の高いフィルムを接着する場合はこれが問題となることも十分考えられる。この対策としては3.1で述べたように温度コントロールを他の方式に代えることなどが考えられる。

マグネット圧着式の場合、第9図からわかることは、薄いプロテクタテープ(19 $\mu$ )を使用したものの方が接着強度が大きくなっていることである。これは次に述べる接着面の状態と関係があるものと考えられる。



第9図 フィルム接着性能



第10図 接着断面の形状



## (2) 接着面の状態

接着部分の断面を模式的に描くと、第10図のように分類することができると思われる。(a), (b)ではプロテクタテープは接着端面(エッジ)の補強になっていない。エッジを補強するためには(c)のようにならないといけない。

フィルムの接着状態を顕微鏡で観察したが、接着方法による同図(a), (b), (c)間の系統的差異は見出せなかった。しかし、薄いプロテクタテープ(19 $\mu$ )の場合は(c)のようになる物が多かった。これが第9図で接着強度の差となって表われているように思われる。(c)のような接着状態にするためには、プロテクタテープに融点の低いものを使うとよいかもしれない。この点は、接着器の性能評価という面からだけでなく、フィルムやプロテクタテープの物理的性質と共に検討する必要がある。

## 5. む す び

以上、製作速度および操作性の向上という点で従来のマグネット圧着式接着器に代わるものとして、バンドシーラのヒータ性、接着性能を検討してきた。その結果、ポリエチレンフィルムを接着する場合の接着性能は、マグネット圧着式に劣らないことが確認された。

今後の課題として、ヒータ温度の変動幅を小さくする必要がある場合は、サーモスタットを検討しなければならない。また、接着器だけの問題ではないが、接着性能をより向上させるためには、プロテクタテープ・ロードテープの材質や厚みなどをフィルムとの関係でなお検討する必要がある。

## 6. 謝 辞

終りに、終始御指導、御援助いただいた東京大学宇宙航空研究所の西村教授、広沢助教授、本堂明氏、秋山弘光氏、佐々木明信氏および藤倉航装の牛島馨氏、直井冬至氏に謝意を表す。

1975年5月15日 新設部(工学)

## 参 考 文 献

- [1] プラスティック気球についてI (東京大学原子核研究所) (1962)
- [2] 例えば、グレーベル, エルク, グリグル (坪内為雄, 加藤清雄訳) 熱伝達の基礎 朝倉書店 (1963)
- [3] プラスチックハンドブック 朝倉書店 (1961)
- [4] 高分子の分子物性 中島章夫, 細野正夫 化学同人 K.K (1969)