

論文

# 剥がれと破れの混成ヒートシール方法の検討 — “Compo Seal” の開発 —

菱沼一夫\*

## Study of Composite Heat Sealing of Peel Seal and Tear Seal

Kazuo HISHINUMA \*

〈JIS Z 0238〉、〈ASTM (F88-06)〉がヒートシールの仕上がりを検証する評価規範として使用されている。しかし、この規範を確実に実施してもピンホールや破袋が確率的に発生してヒートシールの信頼性が確保できていない。

従来のヒートシール方法は接着強さが最大となる溶融状態の凝集接着を追及してきた。しかし、液化したヒートシーラントがヒートシール線にはみ出してポリ玉を形成し、破れの起点になっている。凝集接着では限界応力に対して、直ちに破断を起こす。他方、ヒートシールの発現の立ち上がりの界面接着では剥がれが起り、応力に対する破れの抑止機能がある。

本研究は次を論じる

- 1) ヒートシール面の内側に界面接着、外縁に凝集接着の二つのヒートシール状態を混成させる
- 2) ヒートシール面を有効に機能させる
- 3) ヒートシールのピンホールの発生を根本的に抑制して破袋の発生を制御する

[JIS Z 0238] or [ASTM (F88-06)] are generally used as evaluation standards for verification of the finish of heat sealing. However, even if the requirements of these standards are met, pinholes and breaks will randomly occur and reliable heat sealing cannot be ensured.

Conventional heat sealing methods have sought to maximize adhesive strength through cohesive adhesion of the melt state. However, protrusion of molten heat sealant beyond the heat sealing line can form polymer balls that become origins for breaks. Ruptures are caused immediately when critical stress for the cohesive adhesive state is reached. On the other hand, for the heat seal initially formed by surface adhesion, peeling occurs that functions to control stress breaking.

In this paper, the following points are discussed.

- 1) The mixing of the two heat sealing conditions of adhesion on the inside and cohesion on the outer boundary of the heat sealing plane.
- 2) Making the heat sealing plane function effectively.
- 3) Controlling the generation of pinholes in heat sealing to control the root cause of heat seal breaks.

キーワード：ヒートシール、混成ヒートシール、剥がれシール、破れシール、ポリ玉、剥離エネルギー

Keywords : heat sealing, "Compo Seal", peel seal, tear seal, polymerball, peel energy

\*菱沼技術士事務所 〒212-0054 川崎市幸区小倉1232  
HISHINUMA CONSULTING ENGINEER OFFICE 1232 Ogura Saiwai-ku Kawasaki-City Japan.

## 1. 緒言

プラスチックの包装材料の封緘にはプラスチックの熱可塑性を利用したヒートシール技法が多用されている。ヒートシールの適正性の評価はJIS Z 0238やASTM [F88-06]が適用されている。しかしこの評価法を着実に実行してもピンホールや破袋の発生が制御しきれない状態が続いている。<sup>1)</sup> 現在は不具合の対応として、接着層の厚肉化や材料強さの向上が常套手段となっていて、省資源のための包装材料の薄肉化、小サイズ化や生分解性プラスチックの導入による循環型の資源利用の対応が手詰まり状態となっている。

破袋の原因であるピンホールは①破袋応力の発生（落下、荷重）、②ヒートシール線の凹凸（ポリ玉）、③応力の集中化（充填によるタック、過加熱によるシュリンク）の複合起因で発生している。そして破袋はピンホールを起点（ノッチ効果）として発生している。<sup>2)</sup> 破袋は複合起因である3つの要素の1つを制御することによって防御が可能である。

汎用的にはポリ玉の発生抑制の適正加熱化が有効である。（原因要素の1つであるヒートシール線のシュリンクも付随的に抑制できる。）従来は、15mm幅の接着面の引張強さを計測して適否を判断しているので、接着層（ヒートシーラント）の凝集接着が起こる溶融温度 [Tm] 以上の加熱設定が目安となっている。

[Tm] 温度付近では接着層は液状となるので、特に表層材にヒートシーラントより溶融温度の高い材料が適用されるラミネーション材料では、圧着圧によってヒートシール線に接着層がはみ出し、ポリ玉が形成されている。

破れシールの接着（凝集接着；tear seal）では、破れはヒートシール線（エッジ）で起こり、ヒートシールフィン（面）は破袋防御に関係せず包装材料の無駄になっている。

ヒートシール強さの立ち上がりの剥がれシール（界面接着；peel seal）領域では引張強さは小さいが界面接着なので、引張応力で接着面には剥離が起こり、引張エネルギーの消費機能があり、ピンホールの発生を制御することができる。<sup>3)</sup> 剥がれシールの適用でヒートシール性は2～3倍程度の改善が得られるが、適用した剥がれシールの加熱状態が最適であることの証明がしにくい課題がある。

本研究はヒートシールの幅方向に剥がれシールと破れシールを混成させることにより剥がれシールと破れシールを連続的に生成させ、剥がれの剥離エネルギーによる破壊力の消費の“クッション性”とポリ玉の発生を原理的に抑制し、ピンホールの発生を制御する究極的なヒートシールの加熱方法の報告である。

本研究を適用した新しいヒートシール法は従来法の4～5倍の破袋改善能力が確認されている。この成果はヒートシールフィンの寸法の縮小、ヒートシーラントの薄肉化等の直接的コストダウンに貢献できると共に、剥がれシールの適用が不可欠な生分解性プラスチックの軟包装への利用を促進できる期待がある。<sup>4)</sup> 混成ヒートシール方法の通称を“Compo Seal”<sup>3)</sup>と名付けた。

本報では、特に断りのない場合の加熱時の始発時の圧着圧は0.1～0.2MPa、被加熱材表面にはテフロン等のカバー材は装着していない。

## 2. 理論

### 2.1 ヒートシールのメカニズム

プラスチックは構成分子が直鎖状に分子結合し、直鎖間は分子間力 (van der waals force) によって一体形状が維持されている。

一体化したプラスチックの最大引張強さは構成分子と製膜工程で調節される直鎖の隣接整列性 (結晶性と方向性) によって決定される材料毎の固有のものである。ヒートシール強さは接着面の加熱によって接触面の高分子が活性化して、ミクロな接近下の両表面の分子間に分子間力を発生させることによって発現する。有効な分子間力の発生には分子間距離を 300nm 以下に接近する必要がある。<sup>6)</sup>

熱可塑性プラスチックのこの距離は加熱温度の関数になっている。

従来からヒートシールの加熱の目安に適用されている溶融温度 [T<sub>m</sub>] 付近では、高分子は流動状態 (液状化) となり接着面は流動

混合となり、冷却されると成型状態となり接着界面はなくなる。この状態では高分子間の接近距離は数 nm となり「接着部位」は、ほぼ製膜 / 成型と同等の分子間力が発生して、材料の固有の引張強さになる。このモデル図を Fig. 1 に示した。<sup>7)</sup>

### 2.2 凝集接着におけるヒートシールの不具合の発生解析

従来のヒートシール技法は引張試験による引張強さをいかに高めるかの一元的な取組みであった。すなわち、接着面をいかに凝集接着にするかに関係者は腐心をしてきた。結果として加熱は高温 (T<sub>m</sub> 以上) となっている。ヒートシーラントは液状化する [T<sub>m</sub>] 以上の高温加熱では、単体材料の場合は加熱体に付着したり、形状が維持できなくなるので工業的な取扱は困難となる。加熱体への付着防御と加熱後の剥離性の改善を目的として、網目に織ったグラスウールにテフロンを含浸し

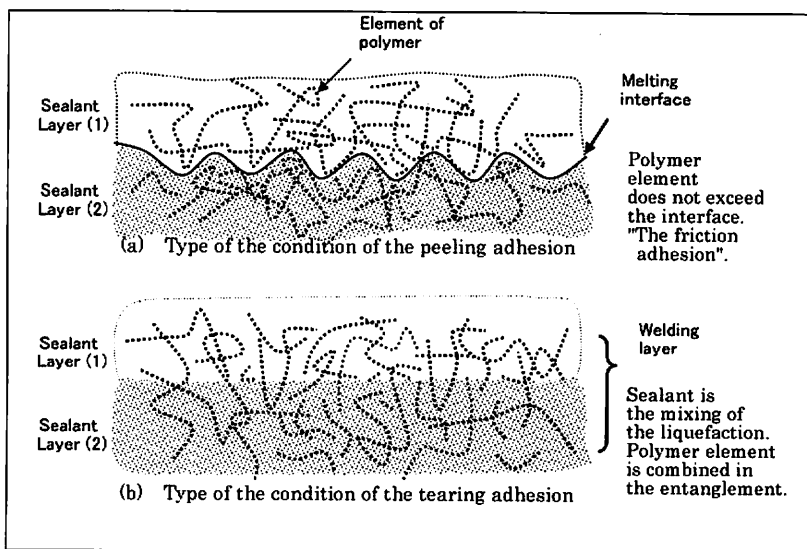


Fig. 1 Schema of fusing condition of peel seal and tear seal

たシートが常用されているがこれが不具合の要因にもなっている。<sup>9)</sup>

高温接着によって、次に示すような不具合が発生している。

- (1) 凝集接着状態の確認である「エッジ切れ」の接合状態が“良好”とする評価が常識化した。
- (2) 「エッジ切れ」は接着線が緩衝能力のない接着状態である。<sup>2)</sup>
- (3) 「エッジ切れ」を“良”としていながらも、ヒートシール幅の必要性が共存する矛盾論理が継続している。
- (4) JIS (Z 0238) の引張試験では、破袋の起点になる“ポリ玉”付近のピンホールの発生の検知ができない。<sup>2)</sup>
- (7) JISの引張試験では凝集接着状態ではほぼ一定のヒートシール強さを示すので、温度調節の簡易性から一定値の中心付近を選択する傾向が強い
- (8) 高温加熱では含有または含浸した揮発成分の気化による接着面の劣化の議論が始まっている。<sup>8)</sup>
- (9) 高温加熱で発生するヒートシールエッジのポリ玉がヒートシールの破袋の原因になっている解析が曖昧となっている。
- (10) テフロン含浸シートの利用は加熱温度を高める“悪”になっている。<sup>9)</sup>
- (11) 網目圧着は接着面の間引き接着を起こし、ヒートシール強さの低下と加熱温度の擬似高温化になっている。<sup>10)</sup>
- (12) ヒートシールの高速化操作の要求によって、更なる加熱温度の高温化となり、包材固有の熱伝導速度より大きな熱傾斜が与えられ、表層材のシュリンク、熱分解等の熱ダメージを起している。

### 2.3 溶融温度 ( $T_m$ ) を目安にしたヒートシール操作の欠陥

熱可塑性プラスチックを加熱/冷却すると加熱温度に応じて Fig. 2 に示したヒートシール強さが発現する。ヒートシール線に引裂き応力 (引張試験) をかけると接着面 (線) の破壊状況は Fig. 3 に示したように剥がれシールの接着面は剥離を起こすが、接着面が一体化している破れシールでは、ヒートシールエッジの周辺から伸びが起こり破断する。この時の測定強さは材料の伸び応力又は加熱で周辺が熱劣化を起した伸び強さを測定しているものである。

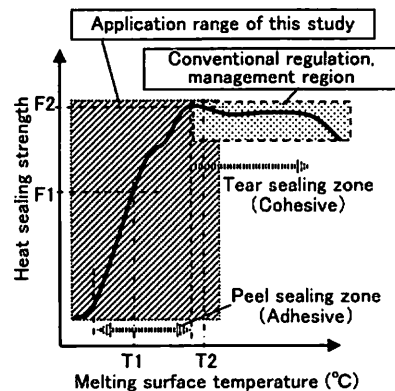


Fig. 2 Expression of the heat sealing strength

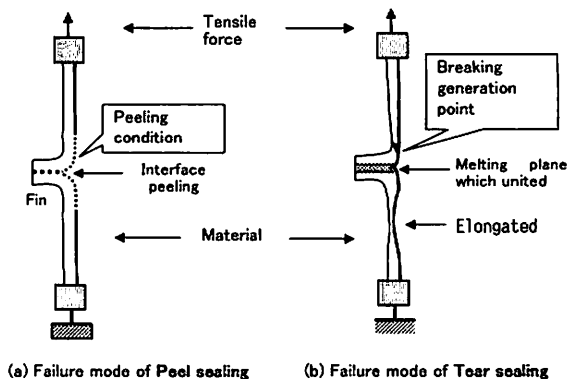


Fig. 3 Failure mode of Peel and Tear sealing

従来はヒートシール強さが一定になる破れシール領域又は溶融温度 (Tm) 付近 (凝集接着) の加熱が適用されている。この加熱温度帯はヒートシーラントが液状化して、凝集接着が確実に発現する温度帯であるので、ラボ的には材料の持つ固有の接着力を得ることができる。このために長い間この温度帯が“適正”として、常套方法として採用されてきた。しかし、低密度ポリエチレンを除いてヒートシール強さの発現温度と [Tm] の乖離は大きく従来の取扱は正しくない。<sup>11)</sup>

消費者は、プラスチック包装において、使い易い確実な封緘をヒートシールに期待している。従来からの認識をベースにしたヒートシール操作は前述で明らかにしたように今日の要求に対して、技術的な課題が山積している。

## 2.4 従来の不具合発生要素抽出と相互関係の解析

[2.2] の「凝集接着におけるヒートシールの不具合の発生解析」で記述した不具合項目の発生原因を [加熱起因]、[容器にかかる応力]、[タックの発生源] に分けて列挙すると Table. 1 に示したようになる。この項目群の

因果関係を“複合起因解析”<sup>12)</sup>を適用して整頓すると Fig. 4 に示したようになる。この解析では、破袋はピンホールが起点となって発生するとし (“ノッチ効果”) ピンホールの発生メカニズムの解析の論理設定を行った。ピンホールの発生は微小部位への応力の集中負荷現象として捉え、主要因である①応力発生、②応力の集中機能のメカニズムを解析してみると Fig. 4 中に示したように「内圧の発生」、「タック」、「シュリンク」、「ポリ玉」、「クッション性」を抽出することができた。更なる“複合起因解析”をすすめると、「タック」、「ポリ玉」、「クッション性」は加熱温度がパラメータで発生することを見出すことができた。更に、ヒートシールの破袋の発生の主要因の「タック」、「ポリ玉」、「クッション性」は加熱温度に依存する共通的な現象であることが発見できた。すなわち技術的 (工業的) な課題を改善するには、この現象の制御が改善策であることが分かった。

複合的に発生する現象では、関連要素の全ての発生を制御する必要はなく、関与強度の大きいもの、あるいは扱い易い要素の制御に重点を置けばよく、負荷応力が包装材料の持

Table 1 Cause element of the breaking seal of the heat sealing

<p><b>[1] Appropriateness of the heating</b></p> <p>(1) Achievement of the melting temperature</p> <p>(2) Generation of the failure by the overheat</p> <p>1) Polymer ball</p> <p>2) Shrink</p> <p>3) Material thermal denaturation</p> <p>-Decomposition of the polymerization</p> <p>-Vaporization in the volatile minute</p>	<p><b>[2] Bag stress source</b></p> <p>(1) Drop</p> <p>(2) Vibration</p> <p>(3) Load</p> <p>(4) existence of the pressure receiver</p>	<p><b>[3] Cause of generation of the tack</b></p> <p>(1) Molded from the plane body to forming</p> <p>(2) Tension by the filling weight</p> <p>(3) Grip force is insufficient</p> <p>(4) bad of the grip position</p> <p>(5) filling rate</p> <p>(6) Fluidity of the filling-ee article</p> <p>(7) Shape of the bag</p> <p>(8) Shrink</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

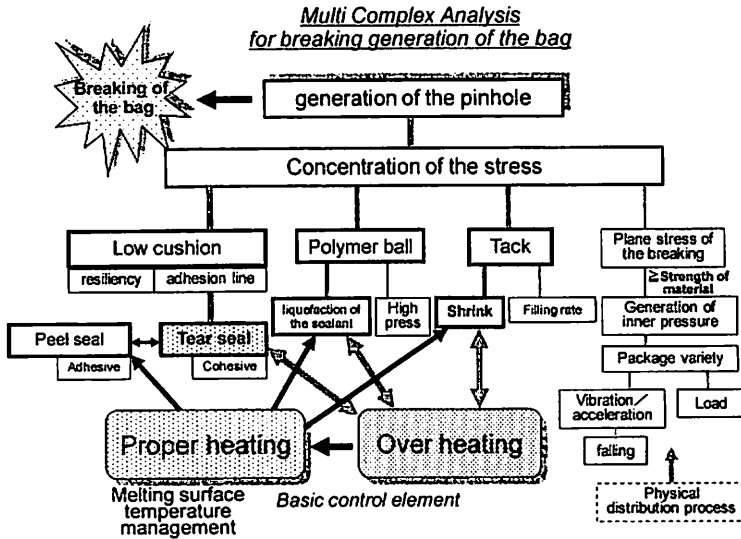


Fig. 4 "Multi Complex Analysis" for breaking generation of the bag

つ基本性能以内であれば、加熱温度の適正化を図れば、充填量やヒートシールの圧着圧の要素は付随的な制御対象になる。<sup>12)</sup>

“複合起因解析”の結果、加熱温度の適正化でヒートシールの課題の基本的改善が図れることを見出した。

## 2.5 剥がれと破れの混成ヒートシール法の論理構築

前述のようにヒートシールにおける破れの発生の防御には加熱温度の適正化が不可欠、かつ王道であることを示した。その結論は剥がれシール帯を有効に利用する技術開発である。<sup>3)</sup>しかし剥がれシール接着のみの工業的実施には、その信頼性の保証（加熱温度の適正性、剥がれ強さの適正性の保証）とエッジ切れを“良”としていた半世紀もの社会通念のギャップの理解が必要である。

本研究は容器のシールの加熱接着面の内側に剥がれシール、外縁の狭い部分に破れシ

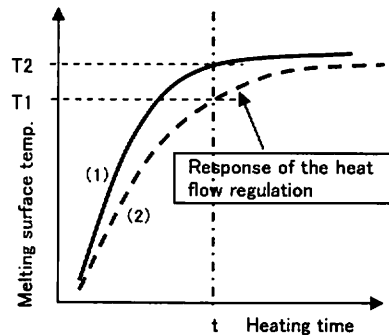


Fig. 5 Response example of the melting surface temperature which adjusted the heat flow

ルを混成 (composite) させ、2大複合要因の①剥がれシールのクッション性、②ヒートシール面にポリ玉の発生をさせない究極のヒートシール技法を完成させるものである。

ヒートジョー方式を例にすれば、加熱体の金属面を直接圧着すると、ヒートシールの溶着面の温度はFig. 5の(1)に示した応答を示す。一方、加熱体の表面にテフロンシートのような熱流低減材を設置すると、その応答はFig. 5の(2)に付記したように遅れが生じる。加

熱体の表面の区別した部位（5～10mm）に並列に熱流調節板を設置して、加熱流を調節する。通常加熱したい部分は熱流調節板と同一の厚さの金属板を設置して圧着面が均一になるようにして、任意に設定する加熱幅に加熱分布を作る。<sup>16)</sup>

Fig. 2 の図中に示した剥がれシール帯と破れシールの一部が含まれる温度帯の [T1-T2] を調節対象として、引張強さを [F1-F2] を選択する。加熱流の調節結果は溶着面温度測定法<sup>13)</sup>を適用して応答を検証する。(Fig. 7 参照) 所定の温度差の調節は、熱流調節板の材質、厚さで変更して、適合する加熱時間 [tn] を生産機に反映して目的を達成する。

### 3. 実験

#### 3.1 熱流調節材の性能の取得方法

最も汎用的に利用されているヒートジョー方式での混成ヒートシール (“Compo Seal”) の実施法を Fig. 6 に示した。<sup>16)</sup> 熱流調節材として、幅：10mm、厚さ：0.1～0.3mm のテフロン材を用いた。テフロン材と幅：5mm の同一の厚さの金属板（ステンレススティール）を用意して、一对の加熱体の表面に熱流

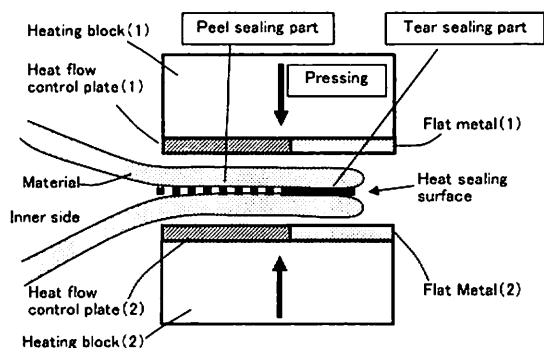


Fig. 6 Implemental method of the composite seal<sup>16)</sup>  
(Case of heat jaw type)

抵抗の小さい0.01mmの平滑面のテフロンシートを用いて固定した。

加熱体の両加熱面の温度を同一設定にして、該当ヒートシール材料を用いて、熱流調節部（剥がれシール）と非熱流調節部（破れシール）のそれぞれの中央部付近の溶着面温度応答を測定する。

#### 3.2 適用包装材料のヒートシール特性測定

ヒートシール強さの発現温度付近から、加熱体の温度2～5℃間隔で変更して、溶着面温度ベースのヒートシール強さ（JIS Z 0238 準拠）の発現を計測する。

#### 3.3 熱流調節材の厚さ、加熱温度、加熱時間の選択

Fig. 2、Fig. 7を参照して混成ヒートシールの加熱条件を決定する。

- (1) 溶着面温度ベースのヒートシール強さの発現グラフから剥がれシールと破れシールが共存する加熱温度帯を選択する。更に剥がれシール加熱帯と破れシール加熱帯の中心点 (T1、T2) を選択する。(Fig. 2 参照)
- (2) 非熱流調節部の応答グラフから破れシールの発現する溶着面温度 (T2) の加熱時間 (tn) を選択する (Fig. 7 参照)
- (3) 破れシールの加熱時間 (tn) と同一の時間で、選択した剥がれシール強さの発現する溶着面温度 (T1) に最も近い交点の熱流調節板の厚さを選択する。(Fig. 7 参照)
- (4) 少々の調節は加熱体の温度変更、加熱時間変更で行う。

#### 3.4 製袋試験

- (1) [3.1～3.3] の実用性を確認するために

“薄い包装材料”（ヒートシーラント：6 $\mu$ m、総厚：50 $\mu$ m）を使用した製袋試験で検証する。

- (2) 剥がれシールの適用が不可欠な生分解性プラスチックのヒートシール<sup>41</sup>に適用して混成ヒートシールの機能性を検証する。

## 4. 結果と考察

### 4.1 熱流調節の結果と考察

熱流調節材として、厚さ：0.2～0.4mmのテフロンシートを用いて、試験材としてレトルト用パウチ材を適用して熱流調節効果の測定した結果の統合をFig. 7に示した。剥がれシール／破れシールの溶着面温度の測定点はそれぞれのほぼ中央を選んだ。この結果から熱流調節板の厚さが0.1mmの変化で実用的な温度差を獲得できることが分かった。加熱の

中心温度を破れシール；160 $^{\circ}$ C [T2] とすると、到達時間は0.38s [tn] を得る。この点がこの例の混成ヒートシールの基点になる。各熱流調節板の溶着面温度応答が [tn] を通過する時の温度 [T1]、[T3] を得ることができる。剥がれシール温度の中心を145 $^{\circ}$ Cとすると、[T1] を得ることができる。必要とする熱流調節温度に最も近い熱流調節板を選択して、[tn] を現場の設備に反映して混成ヒートシールを実行する。

加熱面の温度が一定でも、ヒートシールされる加熱面の材料内に起こる熱流によって、温度分布が発生する報告<sup>14</sup>があるが、この実験で使用したレトルトパウチ材のように金属箔がラミネーションされているとこの効果はさらに大きくなる。本例では、非熱流調節からヒートシールエッジの非加熱部までの溶着面温度は非熱流調節部を最高温度として、順

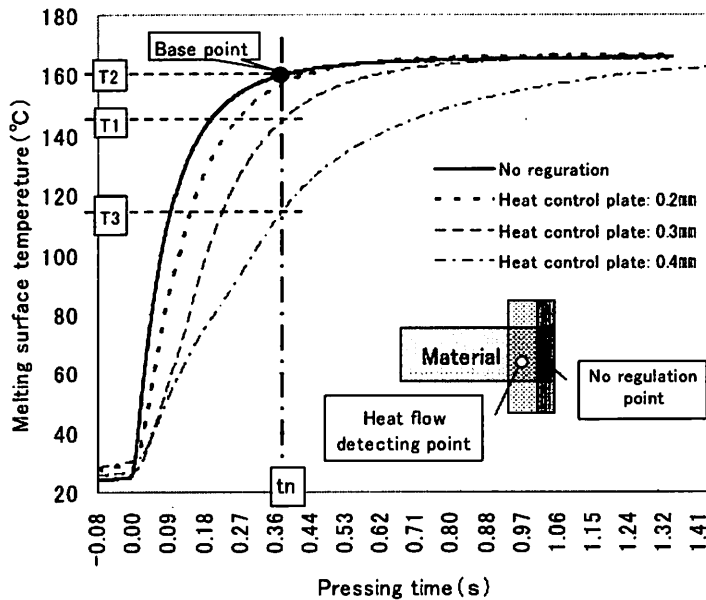


Fig. 7 Melting surface temperature response in adjusting the heat flow



次温度が低下する応答が観測されている。

#### 4.2 混成ヒートシールの実効確認と考察

Fig. 8 は Fig. 7 と同じ材料の溶着面温度ベースのヒートシール強さ (JIS 法) を示したものである。このヒートシール強さの発現グラフと Fig. 7 の熱流調節グラフから混成ヒートシール条件を次のように設定して混成ヒートシールサンプルを作成した。

- ・加熱体表面温度：165℃
- ・破れシール：[T2] 162℃, 0.40 s  
幅：5mm
- ・剥がれシール：[T1] 145℃  
幅：9mm
- ・熱流調節板 (テフロン)：0.3mm

加熱体の温度設定は、破れシールの加熱温度帯の選択がなるべく平坦な領域に設定できるようにして、破れシールの加熱温度を1～2℃の振りで、剥がれシールの加熱設定時間に自由度を持たせるようにした。

このサンプルを [JIS Z 0238] に準拠した引張試験を行った。引張試験機のロードセル

の出力と引張距離 (剥離距離) をデジタル変換して、パソコンに Excel データとして取り込んだ。剥離に要するエネルギー (仕事量) は [(強さ×剥離面積)/時間] で表現できるから、引張速度を共通にして、剥離距離を変数にすれば引張強さ値を積分することによって、ヒートシール面が保有する剥離エネルギー値が指数化できるから、この比較で破袋耐性の機能比較ができる。

この混成ヒートシールと従来法のシール (170℃) の引張試験パターンを Fig. 9 に示した。従来法の破れシールでは3.5mmの引張で破断が起こっている。他方混成ヒートシールの剥がれシール帯では8.6mmまで連続して剥離が起こって、破れシール帯に到達して、破断が起こった。従来のヒートシール法/混成ヒートシール法の (引張強さ×剥離面積) の積分の指数化値は [9.9] と [41] で混成ヒートシールが約4倍の剥離エネルギー (破袋耐性) を示している。混成ヒートシールの引張試験の応答の最大値は従来法に比して高くなっているのは、連続的に剥がれシールから破

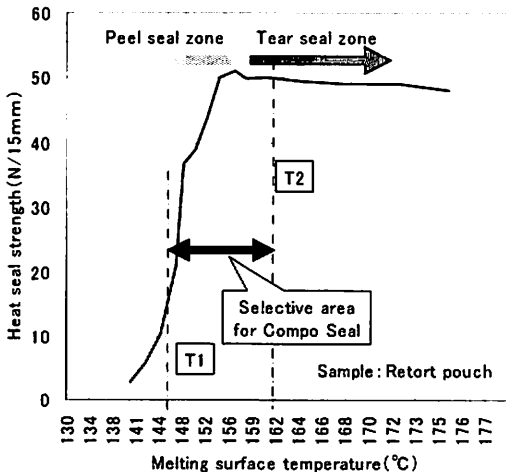


Fig. 8 Expression graph of the heat sealing strength

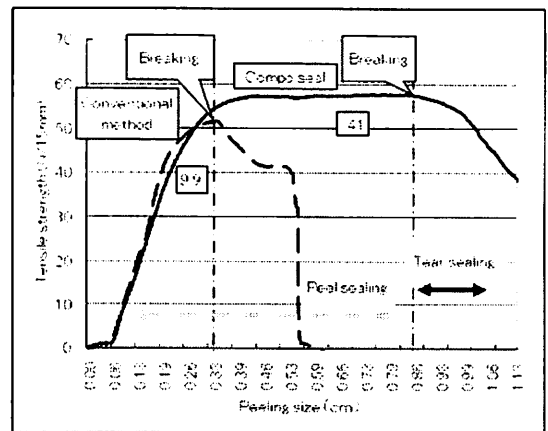


Fig. 9 Comparison of tensile test pattern of the Compo Seal and the conventional method

れシールに移行しているの、材料の持つ固有の接着強さが発現している。また引張強さの応答は滑らかで、ヒートシール面に均一な界面接着が生成していることが推察できる。この実験結果は剥がれシール部の最大の積分値が発揮する温度条件に設定している。剥がれシールの加熱温度を低くすることによって、剥離パターンは直線的（加熱温度とヒートシール強さの発現パターン）に上昇するように調節できる。落下衝撃のようにパルス状で突発的に負荷するような応力に対しては、剥がれシール分の温度を少し低くして、スポット応力の分散機能を大きくした方がピンホールの発生が抑制できることが薄い材料の実験で分かった。

#### 4.3 製袋試験による実用性の確認と考察

市販のレトルトパウチのように過剰仕様の包装材料ではヒートシール面の繊細な機能が解析し難いので、操作に対して顕著な特性を発現するヒートシーラントの“薄い材料”を用いて製袋サンプルの荷重試験を行い、混成ヒートシールの実用性の評価を行った。

試験条件を以下に示す。

- ・ サンプル：ニホンポリエース；50NT  
(PPの共押しフィルム) (ヒートシーラント：6 μm、総厚：50 μm)
- ・ 加熱温度：破れシール部；126℃ 剥がれシール部；119～121℃
- ・ 製袋寸法：1 辺寸法 120mm × 120mm  
4 方シール
- ・ 充填物：水；75ml
- ・ 荷重試験：JIS Z 0238 準拠、  
荷重速度：9mm/min.
- ・ ヒートシール強さ：破れシール部；

20N/15mm、剥がれシール部；5～10N/15mm

ヒートシール強さと荷重試験の相互関連性の評価方法は未だ確立していないので、本報では≪JIS 0 Z 238≫に準拠の荷重試験で効果を評価した。荷重前のヒートシールエッジを白点線、荷重後のエッジを黒太点線で示し、剥がれシール部のヒートシール面が剥離した状態を Photo. 1 に示した。この例では、破袋寸前の約 320N の荷重で破れシール部が剥離をブロックして、剥がれシール部は荷重応力で順次横方向に剥離し荷重を消化している様子が観察できる。混成ヒートシールの剥離効果の考察を Fig.10 に示した。ヒートシール線はミクロに見ると凹凸があり、充填物や包装材料のシュリンクでタックが発生し、微細部に応力が集中する。高温の凝集接着状態では、この微細部で破損が起り、ここが起点となって破袋に至るが、剥がれシールの接着では応力点を起点に受応力線の拡大が起り面剥離して、この剥離のエネルギーが破壊応力を消費する。この特性は落下や振動のようにピーク値は大きい作用時間が短いパルス状の応力の緩衝機能が大きいと評価できる。

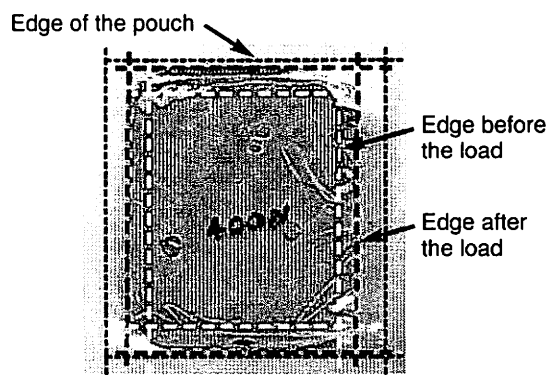


Photo. 1 Peeling condition after the load test of "Compo Seal".

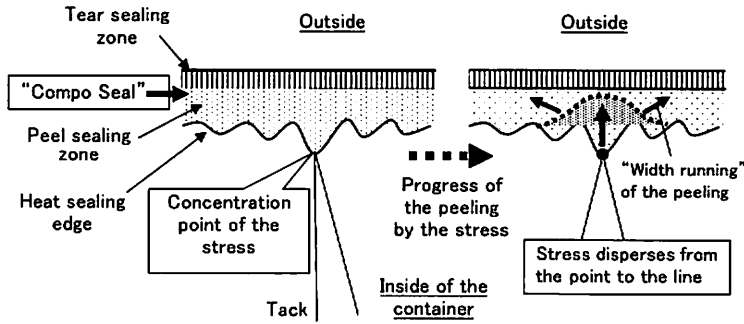


Fig.10 Melting surface temperature response in adjusting the heat flow

ヒートシール強さの相違が2～3N/15mmあれば剥離の“横走り”が観察される。このことは外縁を必ずしも凝集接着の破れシールにしなくとも混成ヒートシール効果を発現できることを示唆している。破れシールの破損片の発生を嫌う医療品包装のように、接着面全体を剥がれシールに仕上げたいヒートシールにも展開できる。荷重を連続的に負荷した場合の荷重源の応力値（フォースゲージの出力）の測定例をFig.11に示したが、剥離は連続的に起こるのではなく、一定量の荷重が蓄積された時に間欠的に起こっていることが観

察される。この効果は剥離によって内圧が瞬時に低下し、容器内の内圧上昇を吸収していることになる。

#### 4.4 生分解性プラスチックのヒートシールへの展開

生分解性プラスチックの破れシール帯の加熱では

- (1) D体/L体の混合による分子の整列状態に不揃いが起こると考えられ
- ↓
- (2) シュリンクが起こったり、もろくなって
- ↓
- (3) ヒートシール強さは極端に低下して実用性が失われる特性があって、
- ↓
- (4) 剥がれシール帯の加熱が不可欠になっている。<sup>4)</sup>

生分解性プラスチックのサンプルを次の混成ヒートシール条件でヒートシールを行った。

サンプル：20 μm PLA フィルム

加熱条件：破れシール；77℃／剥がれシール；74℃

ヒートシール強さ：JIS法；2.5～3N/15mm

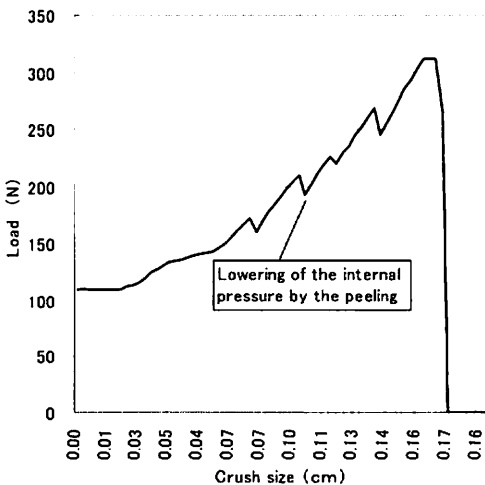


Fig.11 Example of the peeling pattern of "Compo Seal".

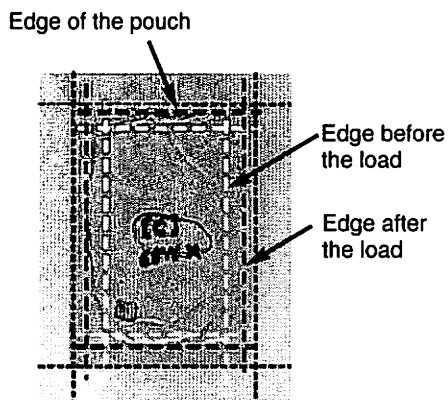


Photo. 2 "Compo Seal" result of the biodegradable plastic

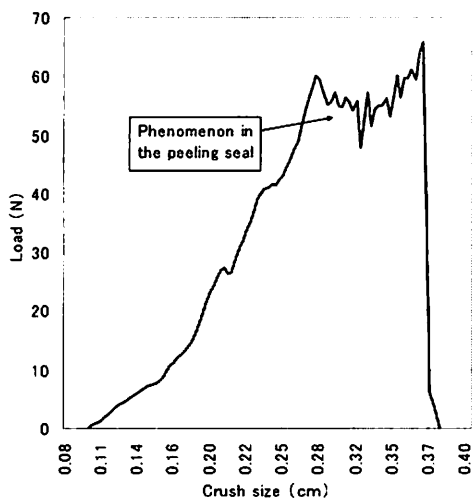


Fig. 12 Example of peeling pattern of the biodegradable plastic by "Compo Seal"

パウチサイズ：80mm × 100mm 4方シール

荷重前のヒートシールエッジを白点線、荷重後のエッジを黒太点線で示し、剥がれシールのヒートシール面が剥離した状態を Photo.2 に示した。JIS法のヒートシール強さが2.5～3N/15mmのヒートシールであるが、破袋までの荷重は約65Nが得られ、混成ヒートシールによる生分解性プラスチックのヒートシールの適正性を確認できた。接着状態の確認の

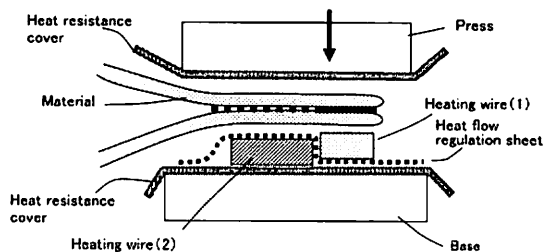


Fig. 13 "Compo Seal" for impulse sealing<sup>16)</sup>

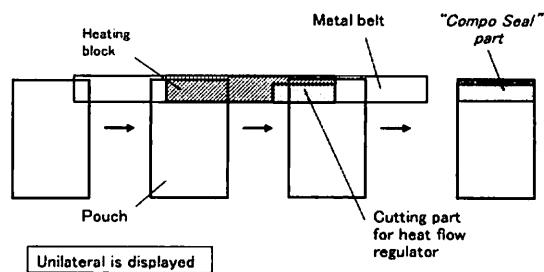


Fig. 14 "Compo Seal" for Belt sealing<sup>17)</sup>

ため、引張試験の荷重応答を Fig.12 に示した。剥離パターンは一定範囲に到達した後に、引張強さのアップ/ダウンを繰り返す、剥がれシールの固有のパターン<sup>15)</sup>を示している。

#### 4.5 他のヒートシール方法への展開

混成ヒートシールはヒートシール面の熱流調節が可能なヒートシール方式への展開は容易である。インパルス、バンドシールへの実施方法を Fig.13<sup>16)</sup>、14<sup>17)</sup> に示した。

### 5. 結論

- (1) 加熱体の表面に熱流抑制材を設置することで微小面の温度分布加熱が可能であった。
- (2) 熱流抑制材の厚さまたは特性の違う材料

- の選択で実用的な範囲の温度分布調節ができた。
- (3) 破袋の原因であるポリ玉生成の抜本的抑制の究極技術が開発できた。(ピンホール発生の防御)
  - (4) ヒートシールフィン幅の10mmの場合で、4～5倍の破袋耐性を実現できた。
  - (5) 材料の保有する最高接着値をヒートシール帯に包含できる。
  - (6) 提案は剥がれシールと破れシールを混成させることを前提にしているが、2～3N/15mmのヒートシール強さの差があれば剥がれシール帯でも同様な効果が得られることが分かった。
  - (7) 混成ヒートシール(“Compo Seal”)は落下、振動によるパルス状の破壊応力の緩衝性に効果が期待できる。
  - (8) 加熱面の熱流調節が可能な他のヒートシール法に付いても展開が可能である。
  - (9) 研究を市場の利用技術に進展できた。

## 6. 謝辞

本研究に関係する課題をご提供と試験サンプルをご提供戴いた各社さんに御礼申し上げます。成果を以って感謝に代える。

### <参考文献>

- 1) 大塚淳弘：日本包装学会誌、Vol.16、No.2、p.110 (2007)
- 2) 菱沼一夫：日本包装学会誌、Vol.14、No.6、p.401-409 (2005)
- 3) 菱沼一夫：日本接着学会誌、Vol.42、No.4、p.146-152 (2006)
- 4) 菱沼一夫：日本包装学会、第16回年次大会要旨集、p.12 (2007)
- 5) 菱沼一夫：商標登録、商願平2007～10191号 (2007)
- 6) 小野擴邦：日本接着学会誌、Vol.26、No.3、p.3 (2006)
- 7) 菱沼一夫：高信頼性 ヒートシールの基礎と実際、幸書房、p.13 (2007)
- 8) 菱沼一夫：日本包装学会、第15回年次大会要旨集、p.36 (2006)
- 9) 菱沼一夫：高信頼性 ヒートシールの基礎と実際、幸書房、p.66 (2007)
- 10) 菱沼一夫：高信頼性 ヒートシールの基礎と実際、幸書房、p.74 (2007)
- 11) 菱沼一夫：高信頼性 ヒートシールの基礎と実際、幸書房、p.12 (2007)
- 12) 菱沼技術士事務所ホームページ：  
<http://www.e-hishi.com/qamm.html> (2003)
- 13) 菱沼一夫：日本包装学会誌 Vol.14、No.2、p.119-130 (2005)
- 14) 菱沼一夫：高信頼性 ヒートシールの基礎と実際、幸書房、p.71 (2007)
- 15) 菱沼一夫：高信頼性 ヒートシールの基礎と実際、幸書房、p.116 (2007)
- 16) 日本特許出願：特願2007-26377、アメリカ特許出願：23474
- 17) 日本特許出願：特願2007-216836  
(原稿受付 2007年9月17日)  
(審査受理 2008年1月9日)