

熱溶着(ヒートシール)の加熱方法の最適化

菱 沼 一 夫

東京大学審査学位論文 (No. 16508)

熱溶着（ヒートシール）の加熱方法の最適化

Optimization of Heating Method
for the Heat Sealing

菱 沼 一 夫

論文の内容の要旨

論文題目 熱溶着（ヒートシール）の加熱温度の最適化

氏 名 菱沼 一夫

現在の包装では、「包む」という従来機能に加えて被包装物の長期品質保証のために、外部からの微生物、有害物質、酸素、水分の侵入防止や内部からの香気成分、水分等の流出防御に係わる密封性の機能が求められている。この機能を満たす材料として、プラスチックが食料品、医薬品、日用品、防錆、防湿を必要とする電子部品、精密機械部品等の保護のためのあらゆる分野で利用され、日常生活と生産活動に不可欠なものになっている。プラスチックのシートやフィルムを利用する包装では、古くからプラスチックの熱可塑性を利用して加熱と冷却によって容易に接着のできる熱溶着（ヒートシール）（以降、単にヒートシールと称す）を適用して接着を行い、袋、容器を作ってきた。ヒートシールによる密封性の確保には、接着面のピンホールや破れを防御して分子レベルで制御された溶着を必要とする。ヒートシールには加熱温度依存性があり、低温度域では界面剥離する剥がれ接着（Peel seal）が、高温度域ではピンホールや“ポリ玉”と呼ばれる樹脂塊状物などが発生する破れ接着（Tear seal）が起き、それぞれで破壊特性が異なる。不具合のない接着のためには溶着面の正確な加熱温度調節が重要な因子となる。従来は、溶着面の汎用的な温度計測技法が提示されてなかったこともあって、加熱源の温度を基準にしてヒートシールしたサンプルを日本工業規格（JIS）や American Society for Testing and Materials（ASTM）の規定に従って破断、荷重、衝撃試験と壊れの観察により検査をするのが常であった。換言すれば、溶着面温度をパラメータにしたプラスチック材料の熱溶着状態と接着特性との関連を正確に把握することは行われていなかったといえるのが現状である。本研究は、溶着面温度をパラメータとして材料の接着性を再検討し、従来の定性的・経験則的な解析との比較検討、そして得られた結果から提案する評価方法の改善と材料の接着特性に適したヒートシールの加熱方法の最適化に関するものである。以下に、主たる概要を述べる。

1. 従来試験法の検討と課題の抽出

ヒートシール部分の品質試験に関する試験法として、国際的規格である ASTM および JIS を取り上げ

精査した。両者とも引張試験法が準用されており、その強さの大小で判定しているが、これでは高温加熱で発生する“ポリ玉”の生成や内容物容積から発生する接着部への応力が原因となる応力集中部での破壊応力は無視され、破壊部と接着部の単なる平均応力が測定されることを見出した。

2. 溶着面温度測定法の検討

前述したように確実なヒートシールには、ヒートシール面の温度が決定因子となるので、溶着面の定量的な解析には溶着面温度の動的変化を直接的に把握できる計測法が必要であると考えた。熱電対を使った測定システムの構築の検討を行った。自作した微細な温度センサーを使用して溶着部の温度測定を行ったところ、温度計測の再現性や精度などにおいて満足すべき結果が得られた。この結果は、高い応答特性と検出精度を持つ溶着面温度測定装置の開発に繋がった。

3. プラスチック材料のヒートシール特性の測定法の検討

適正なヒートシールのためには、材料毎のヒートシーラントの加熱温度と溶着強さの関係を知らることが重要である。そこで、材料の溶着面に微細センサーを挿入し、予測溶融温度より高い温度で加熱した応答を検討した。取得データには材料の軟化、液化化、含有物の気化温度に対応した変化が現れることを見出したので、微分演算処理を行い、変化点の温度を検出した。大きく変化する温度付近を中心にして、1～2℃刻みの温度でヒートシールサンプルを作ってヒートシール強さを測定し、加熱温度と Peel seal の発現との関係を把握した。この結果は、Peel seal ゾーンと Tear seal ゾーンの識別に応用できることが判明した。

4. 従来加熱法の適否の検討

ヒートシールに関係する従来法での不具合の発生を最小限にするための条件を溶着面温度をパラメータに検討した。圧着圧とヒートシール強さの関係、加熱体の表面にテフロンシートを貼る効用、片面加熱のリスク等において、従来の常識と異なる次のような知見を得た。(1) ヒートシール強さは圧着圧によって調節可能とされていたが、低い圧着圧では熱伝導が不足する等でヒートシール強さが変わる。0.1～0.2MPaのヒートシール強さでほぼ一定となる。これより強い圧着では、“ポリ玉”が生成されるようになり見かけ上の強さは大きくなる。(2) 常用されていた加熱体へのテフロン装着は熱流を抑止するので、結局は加熱体の高温化に繋がる。従って、加熱体の高温化を防ぐためにテフロン装着を省き、低温で加熱した方が安定したヒートシールが得られる。以上の知見から、ヒートシールに多大な悪影響を及ぼす“ポリ玉”抑制のための圧着ギャップの提案ができた。また、適正加熱には

従来のテフロンシートは不要であり、加熱体の直接接触により、溶着部の熱安定化をもたらす加熱体の低温化に反映できることが分かった。

5. 剥がれシール (Peel seal) と破れシールの (Tear seal) 識別法の検討

最適なヒートシールを行なう条件を得るためには Peel seal と Tear seal を的確に判定する方法が必要となる。Tear seal では微少部位に応力がかかると簡単に破れが発生することを見出し、“斜め”にシールして、応力が点で作用するような引張試験を考案して、それぞれの剥離パターンを計測した。

Tear seal では斜めの引張線上でちぎれが発生するが、Peel seal では三角形状に剥離することから加熱温度の違いによる破壊形態の識別ができることを確認した。本法は微細部位に応力をかけた試験法なので実際に近い識別ができる特長を有していると判断した。

6. Peel seal における剥離エネルギーによる評価の検討

工業的なヒートシールの不良の殆どはピンホールとエッジ切れである。Peel seal では微細部分に掛った応力でも剥がれを起こし、破れないところに着目して、数種類の Peel seal 温度帯のヒートシールサンプルを作り、剥がれ巾と引張応力からそれぞれの剥離エネルギーを計算した。

破れシールの破れエネルギーは破断点まで、剥がれシールは剥離距離までの剥離エネルギーの計算値を取り出して2つの関係を調べた結果、7.5mmの剥がれ巾で破れエネルギーを越すことが分かった。

実際の剥がれは微細部位からほぼ半円状に剥離していたので、幾何学的補正をすると剥がれシールが有利になるのは最小 5mmとなることが分かった。従来はヒートシール巾の設定根拠が明確にされていなかったが、本研究の知見によって最適な溶着のヒートシール幅と Peel seal 条件が設定できるようになった。

7. ヒートシーラントの厚さとヒートシール強さの関係の検討

ヒートシールのトラブルの対策として、ヒートシーラントを厚くする方法が採られている。しかし、溶着の強さは溶着部での形態に依存するため、材料の厚み増加が一義的にヒートシールを改良できるとは限らない。そこで、ヒートシーラントの厚さとヒートシール強さの関係を検討した。ヒートシーラントの実際の厚さが3~7 μ mの包装材料を用いて、精密な温度調節と圧着により作成したサンプルの引張試験を行った。この結果、3~5 μ mで包装材料の持つ固有のヒートシール強さが発現していることを確認できた。レトルト包装などの汎用フィルム of ヒートシーラントの厚さは30~100 μ mが常用されているが、これでは溶着目的に対しては過剰品質となっていることが分かった。

8. イージーピール性能の検出の検討

イージーピールは封緘機能と開け易さを両立する技法である。このバランスのためには、包装材料の Peel seal 性能の発現を定量的に測定することが重要となる。共重合体を混入したイージーピール用の包装材料を用いてヒートシールサンプルを調製し、引張試験機により、引張応力パターンを検討した。記録波形の変化する最大値と最小値から包装材料の Peel seal 能力が見出されることを確認した。各温度条件による Peel seal 特性にイージーピール条件を当てはめることで、適切な加熱温度域を選択することができた。この結果は後に述べる「適正加熱範囲」の決定に重要なデータとなった。

9. 熱溶着のHACCP対応性の検討

レトルト食品はHACCP認証法により安全性の保証が得られる。この認証法ではレトルト包装のヒートシールが主要な技法であるにもかかわらず、抜き取りによるヒートシール強さや荷重試験などの事後審査が採用されているため、製品の製造前にヒートシール性能を予測する方法が求められていた。そこで、本研究の諸要素で評価できるヒートシールの基本性能をHACCPの7項目へ適用する検討を行った。特にHA (Hazard, Analysis)に着目した実験からヒートシールの完成度の事前評価のできる事が分かった。

10. 1条件の測定データから任意条件の適正溶着面温度への拡張のためのシミュレーション方法の検討

ヒートシールの「適正加熱範囲」の設定には、それぞれ数℃刻みの溶着面温度の応答データが必要であった。もし、1～2の少ない温度条件での実測データを基にヒートシールの「適正加熱範囲」を推測することができれば便利である。加熱による物体の温度上昇パターンは物体の持つ熱容量と伝熱特性で決定できることに着目し、実測データの温度勾配と予測したい溶着面温度の始終点温度の勾配の比を利用して、「適正加熱範囲」をシミュレーションする方法を考案した。このシミュレーション結果と実測値の間に良好な一致を見た。この知見はヒートシールの信頼性の検証に有効に利用できると分かった。

11. 熱溶着の信頼性の保証と加熱の高速化を両立させる実施方法の提案

これらの結果から、製造現場での熱溶着の「適正加熱範囲」の設定のために、(1) 過加熱の防御の上限温度、(2) 加熱不足とイージーピール制御から決まる下限温度、(3) 現場の温度精度、バラツキ、設定条件の振れ巾を容認するマネジメント、の重要性を指摘した。また、高速性と高信頼性を両立させるための2段加熱法の適用を提案した。

12. 本研究の汎用性の検討事例

実際に発生した溶融部の不具合を解析し、接着改善を行い、溶着面温度制御の汎用性を証明した。

13. 総括

プラスチックの包装材料の最適なヒートシールを行なうには、溶着面の適正な温度調節が不可欠であるとの観点から、溶着面温度測定装置を試作し、種々の検討を行った。その結果、従来のヒートシールでは、「包装材料が完全に熱溶融していれば十分な溶着となる」との考えから破れシール (Tear seal) が発生し易い過加熱に常態的に偏っていたと推定された。また、溶融接着に利用されている JIS や ASTM の試験法は巾の広い溶着線の平均的な引張強さを計測する方法なので、微細部分への集中応力発生による不具合の評価には、必ずしも適合しないものであると判断された。そして、熱可塑性のプラスチックを包装材料として有効に利用するには、熱溶着の発現する Peel seal と Tear seal ゾーンの境界付近の温度帯を巧く利用することが有効であると判断した。

以上の知見は、確実な溶着には Peel seal が有用であり、これを実現可能とするには、工業的に操作し易い加熱設定により安定した熱溶着をもたらす広い温度帯 (Peel seal ゾーン) を有するプラスチック包装材料の開発が求められていることを示唆している。そして、上述した溶着面温度の測定装置が適切な溶融温度域を持つプラスチック材料のスクリーニングにおいても活用できるものと考えている。

以上

目 次

キーワードの説明	01
第1章 序論	
1. 1 研究の背景	1
1. 2 プラスチックの熱溶着性改善の沿革	2
1. 3 熱溶着（ヒートシール）の加熱方法の最適化の課題	8
1. 4 参考文献	14
第2章 従来の熱溶着（ヒートシール）の解析／評価法	
2. 1 ASTM Standardsの解析／評価法	15
2. 2 JISの解析と評価法	16
2. 3 従来の解析と評価法の考察	17
2. 3. 1 ASTMとJISの相関性	17
2. 3. 2 従来の解析と評価法の特徴と課題の考察	18
第3章 溶着面温度測定法の開発	
3. 1 緒言	23
3. 1. 1 本研究の概要	23
3. 1. 2 溶着面温度測定法（“MTMS”）の概要	24
3. 2 理論	25
3. 2. 1 ヒートシールの方式と特徴	25
3. 2. 2 ヒートシールの熱流と温度分布	25
3. 2. 3 包装材料の種類と加熱方法の選択	27
3. 2. 4 従来法の課題	27
3. 2. 5 ヒートシールの加熱系のシミュレーション回路	28
3. 3 実験	28
3. 3. 1 溶着面温度の直接測定法の検討の課題	30
3. 3. 2 測定機材の検討	30

3. 3. 2. 1	センサー	30
3. 3. 2. 2	温度計（増幅器）の選択	30
3. 3. 2. 3	データ蓄積と伝送	31
3. 3. 2. 4	処理ソフトの開発	31
3. 3. 3	溶着面温度測定法の構成（手動式）	31
3. 4	結果	33
3. 4. 1	開発システムの性能	33
3. 4. 1. 1	センサーの選択	33
3. 4. 1. 2	応答性能の測定	33
3. 4. 1. 3	応答計測の再現性の維持	36
3. 4. 1. 4	測定速度／検出温度精度	36
3. 4. 1. 5	“MTMS” キットの開発	38
3. 5	考察	38
3. 6	結論	38
3. 7	参考文献	40

第4章 プラスチック包装材料の熱特性の簡易解析と評価法の検討

4. 1	緒言	41
4. 1. 1	本研究の概要	41
4. 2	理論	42
4. 2. 1	物質の熱変性特性の測定方法	42
4. 2. 2	溶着面温度測定法（MTMS）を用いた熱変性の検知方法	42
4. 2. 2. 1	溶着面温度の採取の検討	42
4. 2. 2. 2	溶着面温度の情報の演算処理法	42
4. 2. 2. 3	溶着面温度の情報の演算処理結果とヒートシールの 溶着仕上りの対比方法	43
4. 2. 3	溶着面温度測定法；“MTMS” とDSCとの比較	43
4. 2. 4	従来法の熱溶着（ヒートシール）情報の汎用化の難点	43

4. 3	実験と結果	48
4. 3. 1	加熱昇温速度の抑制の必要性	48
4. 3. 2	変曲点検知の近似微分演算の中	50
4. 3. 3	測定ノイズの排除	50
4. 3. 4	溶着面温度データから熱特性の算出方法	50
4. 3. 5	溶着面温度ベースの熱変性表示への変換	54
4. 3. 6	測定事例の考察	54
4. 3. 6. 1	演算処理結果とヒートシール強さとの比較	54
4. 3. 6. 2	DSCとの比較検証	56
4. 3. 6. 3	変曲点が現れないケース	56
4. 3. 6. 4	取得データの生産活動への展開の考察	56
4. 4	結論	58
4. 5	参考文献	59

第5章 溶着面温度測定法による従来の加熱法の検討と評価

5. 1	緒言	61
5. 1. 1	本章の概要	61
5. 2	従来法の溶着面温度をパラメータにした 性能試験の方法、結果と方法	61
5. 2. 1	4重のヒートシールの各部位の温度応答の測定結果と考察	62
5. 2. 2	ヒートシールの圧着圧と溶着面温度の関係の測定と考察	65
5. 2. 3	揮発成分を含んだヒートシールの溶着面温度の挙動測定と考察	67
5. 2. 4	発熱体にテフロンシートを装着した場合の ヒートシール操作への影響	71
5. 2. 4. 1	発熱体にテフロンシートを装着した場合の 被加熱体との接触面の温度挙動	73
5. 2. 4. 2	発熱体にテフロンシートを装着する効用の検討実験と考察	73
5. 2. 5	発熱体の表面の温度分布の計測と考察	76

5. 2. 6	インパルスシールの溶着面温度挙動の計測と考察	79
5. 2. 7	インダクションシールの溶着面温度挙動の測定と考察	83
5. 2. 8	片面加熱の溶着面温度の挙動の測定と考察	87
5. 3	本章の考察	90
5. 4	結論	91
5. 5	参考文献	91

第6章 剥れシール (Peel Seal) と破れシール (Tear Seal) の識別法の検討と

破袋の発生のプロセスの考察

6. 1	緒言	93
6. 2	理論	93
6. 2. 1	ヒートシールの成立と要件	93
6. 2. 2	破袋、ピンホールの発生のメカニズムの考察	95
6. 2. 3	ヒートシール強さ発現要素の検討	95
6. 2. 4	従来法のヒートシールの検証法の性能の考察	100
6. 2. 5	破れシール検出法の検討	102
6. 2. 5. 1	「角度法」の考案	102
6. 2. 5. 2	「角度法」で得られる情報	102
6. 3	実験	104
6. 3. 1	「角度法」のサンプル作成と引張試験	104
6. 3. 2	「角度法」の引張試験の方法	104
6. 3. 3	引張試験データの統合	104
6. 4	結果	105
6. 4. 1	引張試験データ	105
6. 5	考察	108
6. 5. 1	「角度法」の性能の評価と破袋の発生のプロセスの考察	108
6. 6	結論	110
6. 7	参考文献	110

第7章 加熱の最適化条件の検討（2）

熱溶着（ヒートシール）の溶着面における剥離エネルギーの計測と評価法の検討

7. 1	緒言	111
7. 2	理論	114
7. 2. 1	熱溶着の評価と破断エネルギー	114
7. 2. 2	剥離エネルギー理論の構築	116
7. 2. 3	剥離エネルギーの活用の探求	117
7. 3	実験	120
7. 3. 1	引張試験片の作成	120
7. 3. 2	引張試験の方法	120
7. 3. 3	引張試験データの積分範囲と演算方法	120
7. 4	結果と考察	121
7. 4. 1	引張試験パターン	121
7. 4. 2	破断エネルギー，剥離エネルギーの測定結果	121
7. 4. 3	剥離エネルギーの効用の考察	125
7. 4. 4	剥離エネルギー論の実際への適用効果の考察	125
7. 4. 5	剥離エネルギー論の適用効果の確認	128
7. 5	結論	128
7. 6	参考文献	128

第8章 加熱の最適化条件の検討（3）

熱溶着層（ヒートシーラント）の厚さとヒートシール強さの関係の検討

8. 1	緒言	131
8. 2	理論	131
8. 2. 1	Co-polymer の Peel Seal の発現メカニズムの考察	131
8. 3	実験	133
8. 3. 1	実験用資材の選択	133
8. 3. 2	ヒートシールサンプルの作成方法	136

8. 3. 3	引張試験の方法	136
8. 4	結果と考察	136
8. 4. 1	ヒートシーラントの厚さをパラメータにした溶着面温度ベース の引張強さの測定結果と考察	136
8. 4. 2	溶着面温度をパラメータにした引っ張り強さの評価結果の考察	139
8. 4. 3	実際に測定しているヒートシール強さの複合要素の解析と考察	139
8. 5	結論	146
8. 6	参考文献	146

第9章 熱溶着（ヒートシール）機能の確認（1）

簡易剥離（イージーピール）制御の定量的評価法の検討

9. 1	緒言	149
9. 2	理論	151
9. 2. 1	イージーピールの発現方法	151
9. 3	実験方法	151
9. 3. 1	イージーピール性能の試験方法	151
9. 3. 2	ピールシールフィルム溶着面の引張応力パターンの追求実験	153
9. 4	結果と考察	153
9. 4. 1	イージーピール材料の引張試験結果	153
9. 4. 2	引張強さの変動パターンの解析と考察	155
9. 4. 3	最適加熱温度の現場への適用上の配慮	153
9. 4. 4	ピールシールにおける引張強さの変動の発生メカニズムの考察	157
9. 5	結論	159
9. 6	参考文献	159

第10章 熱溶着（ヒートシール）機能の確認（2）

レトルト包装のヒートシールのHACCP保証法

10. 1	緒言	161
10. 2	理論	162

10.2.1	レトルト包装のヒートシールのHACCPの対象事項	162
10.2.2	レトルト包装における加熱の特徴	164
10.3	実験	166
10.3.1	HACCP確認項目と目的	166
10.3.2	確認に使用した包装材料のリスト	166
10.4	結果と考察	168
10.4.1	パウチ包装材料の固有熱特性の測定結果	168
10.4.2	熱特性の測定結果の集約	168
10.4.3	各測定項目の説明と考察	172
10.4.4	各測定項目のHACCP管理値への反映	173
10.4.4.1	静的熱特性からHACCP指標の設定	173
10.4.4.2	加熱温度と加熱時間の選択	173
10.5	結論	176
10.6	参考文献	177

第11章 熱溶着（ヒートシール）機能の確認（3）

1条件測定データから任意条件の適正溶着面温度への拡張のための シミュレーション法の検討

11.1	緒言	179
11.2	シミュレーション論理の検討と構築	179
11.2.1	熱溶着（ヒートシール）の熱伝達系の電気回路への置き換え	179
11.2.2	熱溶着（ヒートシール）系の応答変化の発現要素の分類	184
11.2.3	熱伝導系のステップ応答の特性の利用	184
11.2.4	線形応答として扱える熱変性の小さい材料の シミュレーション方法	185
11.2.5	熱変性の変曲点が顕著に現れる非線形応答の場合の シミュレーション方法	187
11.3	結果と考察	189

1 1. 3. 1	線形応答として扱える熱変性の小さい材料の シミュレーション結果と考察	189
1 1. 3. 2	熱変性の変曲点が顕著に現れる非線形応答の場合の シミュレーション結果	189
1 1. 3. 3	2段加熱による最適加熱方法の設定方法への適用	189
1 1. 4	結論	195
1 1. 5	参考文献	195

第12章 熱溶着（ヒートシール）の機能の確認（4）

高信頼性と生産性を両立させる最適加熱の実施方法

1 2. 1	緒言	197
1 2. 2	高信頼性と生産性を両立させる最適加熱の条件	197
1 2. 2. 1	「適正加熱範囲」の設定方法の検討	199
1 2. 2. 2	加熱温度と加熱時間の変更によるリスクの確認	199
1 2. 3	熱溶着（ヒートシール）最適加熱方法の実際	199
1 2. 3. 1	最適加熱条件の設定の手順	199
1 2. 3. 2	最適加熱方法のリスクマネジメント	200
1 2. 4	実施事例	200
1 2. 4. 1	レトルトパウチの適正加熱化	200
1 2. 4. 2	2段加熱法の実施方法と高速性と信頼性両立の確認	201
1 2. 4. 3	食パン包装のイージーピールの多重シールの保証方法	207
1 2. 5	参考文献	209

第13章 本研究の汎用性の検討事例

1 3. 1	緒言	211
1 3. 2	適用事例の紹介	211
1 3. 2. 1	医療用滅菌包装材料（不織布）の適正なヒートシール条件の検討	211
1 3. 2. 2	紙カップ包装の蓋シールの不具合解析事例	216
1 3. 2. 3	改造した包装材料の性能改善の効果評価	218

1 3. 2. 4 生分解性プラスチックのヒートシール特性の精密測定	220
1 3. 3 参考文献	222

第14章 総括

1 4. 1 本研究の総括	223
1 4. 2 本研究成果の総括	225
1 4. 3 本研究の成果の列挙	225
1 4. 4 熱溶着（ヒートシール）の新しい解析と管理法	232
1 4. 4. 1 熱溶着（ヒートシール）の新しい解析／評価／管理法	232
1 4. 5 ASTM《F88-00》に提起されている課題の本研究での評価	238
1 4. 6 本研究の今後の展開	241
1 4. 7 参考文献	241

発表文献

1. 論文	243
2. 参考論文（特許）	244
3. 学会発表及び執筆等	245

謝辞	249
----	-----

索引	251
----	-----

キーワードの説明 (順不同)

熱溶着 (ヒートシール)												
プラスチックの熱可塑性を利用して、加熱/冷却操作によってプラスチックのフィルムやシート面を熱接着する技法												
Peel Seal and Tear Seal												
<p>熱可塑性を有するプラスチック面を密着させて、加熱/冷却操作を行うと加熱温度に応じて密着面の接着状態の発現が変化する。[本文中の Fig. 1-2, 1-3 (p.6) 参照]</p> <p>本報では、加熱温度をパラメータにして、接着強さの立ち上がりから一定値に到達する加熱温度範囲の接着状態を Peel Seal、一定値に到達した以降の加熱範囲の接着状態を Tear Seal と呼ぶように定義した。従来は引張試験の結果の接着状態の知見から呼称が定義されている。従来との関連はおおよそ以下の当てはめになる。</p> <p>Peel Seal; 剥がれシール, 界面接着, 溶着, 粘着, 擬似接着, Adhesive Tear Seal; 破れシール, 凝集接着, 結合状態, 密着, 融着, Cohesive, Break</p>												
ヒートシーラント												
熱溶着 (ヒートシール) のための接着面に設置される熱可塑性溶着層を言う。ヒートシーラントは表層基材に貼り合わせる (ラミネーション) たり、PEやPPの単一フィルムの場合はフィルム自体がヒートシーラントになる。[Fig. 1-1, p.5 参照]												
引張試験												
熱溶着 (ヒートシール) された接着線に引張力をかけて溶着力を測定する試験												
引張強さ												
引張試験によって得られた応力値												
ヒートシール強さ												
JIS Z 0238 (ASTM F88-00) によって得られた引張試験の応力値												
プラスチック												
プラスチックの分類にはいくつかの方法がある。本文の Table 1-1, 3 ページに [加熱による挙動分類] を示した。本研究では主に熱可塑性樹脂を対象にした。												
JIS Z-0238												
JIS (Japanese Industrial Standard) のヒートシール軟包装及び半剛性容器の試験法												
ASTM [F88-00]												
ASTM (American Society for Testing and Materials) の “Standard Test Method for Seal Strength of Flexible Barrier Materials”												
溶着面温度測定法; “MTMS”												
<p>筆者の開発した熱溶着 (ヒートシール) の溶着面の温度を直接測定した温度をパラメータにして、熱溶着 (ヒートシール) 技法の全般を解析する手法。</p> <p>The Measurement Method for Temperature of Melting Surface</p>												
DSC												
<p>示差走査熱量計: Differential Scanning Calorimeter</p> <p>示差走査熱量測定は、物質の1次相転移や緩和現象に伴うエンタルピーや比熱容量の変化を簡単迅速に知るための手段。</p>												
包装材料の構成												
<p>プラスチックのシートやフィルムを使った包装材料にはガスバリア、遮光性、機械的強度、印刷適正の機能が期待される。特性の異なるプラスチックのフィルムや紙、金属箔等をラミネーションして作られる。</p> <p>構成と機能: (レトルトパウチの例) p. 166 参照</p> <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>PET; 12 μm</td> <td>ON ; 15 μm</td> <td>AL; 7 μm</td> <td>CPP; 70 μm</td> </tr> <tr> <td>↓</td> <td>↓</td> <td>↓</td> <td>↓</td> </tr> <tr> <td>表層材 印刷材 受応力材</td> <td>柔軟性 受応力材</td> <td>ガスバリア 紫外線バリア</td> <td>ヒートシーラント 破袋応力の受材</td> </tr> </table>	PET; 12 μm	ON ; 15 μm	AL; 7 μm	CPP; 70 μm	↓	↓	↓	↓	表層材 印刷材 受応力材	柔軟性 受応力材	ガスバリア 紫外線バリア	ヒートシーラント 破袋応力の受材
PET; 12 μm	ON ; 15 μm	AL; 7 μm	CPP; 70 μm									
↓	↓	↓	↓									
表層材 印刷材 受応力材	柔軟性 受応力材	ガスバリア 紫外線バリア	ヒートシーラント 破袋応力の受材									

圧着圧
熱溶着（ヒートシール）の際の加熱時の押し付け圧。 $\text{圧着圧} = (\text{加熱体の加えた応力；N}) / (\text{加熱面積；m}^2) \quad [\text{MPa}]$
破袋
包装された袋、容器に外部から応力や落下等の衝撃で内部に発生した応力で、包装袋、容器の一部が破れること。本研究では、ヒートシール線に沿って起こる破れを主体的に取り扱う。
ピンホール
包装袋、容器に使われるシートフィルムに発生するタックの頂点やヒートシール線に形成する“ポリ玉”を起点に発生する微少な破れを呼ぶ。
ポリ玉
熱溶着（ヒートシール）において加熱温度が熔融温度以上になるとヒートシーラントは液状化し、圧着圧によってヒートシール線に溶出する。この溶出は均一でなく部分的に“玉状”になる。（写真6-2, p. 96 参照）
「角度法」
熔融温度を超えた加熱のヒートシールではヒートシール線に“ポリ玉”形成されたり、Tear Seal となるので凝集接着となり界面の剥離は起こらない。ヒートシール線を斜めにし、点状に応力して破れの発生を促進する剥がれシール（Peel Seal）と Tear Seal の識別引張試験方法（筆者の開発法）
破断エネルギー
引張試験の引張強さの応答パターンの破断が発生するまでの接着面全体のポテンシャルエネルギーと定義した。（単位幅の引張強さ）×（引張距離）[N・m]
剥離エネルギー
引張試験の剥離引張強さの応答パターンの剥がれ距離の接着面全体のポテンシャルエネルギーと定義した。（単位幅の引張強さ）×（剥離距離）[N・m]
引張試験パターン
JIS Z-0238（ASTM F88-00）で定義されたあるいは、準じた引張試験において、横軸を引張距離、縦軸を引張強さ（ヒートシール強さ）とした引張試験の応答結果（記録）
フィン
ヒートシールにおいて加熱圧着するのに幅を設けた結果、パウチの周辺にできる加熱圧着部位を呼ぶ。（写真7-1, p. 113 参照）
ラミネーション
プラスチックのシートやフィルムを使った包装材料にはガスバリア、遮光性、機械的強度、印刷適正の機能が期待される。特性の異なるプラスチックのフィルムや紙、金属箔等を貼り合わせることを言う。
デ・ラミネーション
ラミネーションは接着剤を使って貼り合わされるが、この張り合わせ面の剥がれをデ・ラミネーションと言う。剥がれの強さをラミネーション強さと呼ぶ。
イージーピール
熱溶着（ヒートシール）では加熱温度によって、Peel Seal と Tear Seal が発現する。Tear seal では凝集接着しているので、開封し難い。容易に開封できるように、ヒートシーラントにヒートシールの加熱で熱変性を起し、ヒートシール面のみを界面剥離するような材料をラミネーションする方法と加熱温度の調節で材料の Peel Seal ゾーンを利用する方法がある。
HACCP
食品の安全性を保証する製造方法。 Hazard Analysis Critical Control Point system 日本では、「食品衛生法」に「総合衛生管理製造過程」として5品目の食品の製造方法の承認制度になっている。
レトルト
プラスチックのフィルムの特長を適用して、圧力釜を利用した密封高温殺菌の食品、医薬品の滅菌処理方法。レトルト食品はHACCPの承認制度の1品目である。（本文第10章参照）
生分解性プラスチック
石油を原料にした合成プラスチックは微生物分解性が極めて低く、廃材の環境問題が大きい。自然原料を利用した高分子物質は微生物での分解性が大きいので、これを生分解性プラスチックと呼ぶ。

第 1 章 序 論

1. 1 研究の背景

包装の機能には物の安全な保存と物流、そして使い勝手の利便性、廉価化が期待されている。包装の期待機能は単に包むことから高度の「密封性」が求められるようになった。

その代表は微生物、有害物質、酸素、水分の侵入防止の安全性と包装物が持っている香気成分等のガス成分の流出防御の密封性を確保することである。

20世紀における石油化学産業はプラスチックを生み出している。プラスチックは人々の生活に深く浸透して、不可欠な材料になっている。

プラスチックは包装界にも広く普及している。2004年のわが国のプラスチックの包装への利用は約3,900千トンで全使用包装材料の重量で19%、金額では1兆5,200億円で全金額の27%に及んでいる。¹⁾

全世界の包装市場規模は50～55兆円である。²⁾日本での使用量比率から考慮すれば、世界の包装用のプラスチックの市場は14～15兆円と考えられる。この包装の経済市場は人口比率で12%（約7億人）の日本と欧米で、全世界の約80%を占有していると推定される。現在の包装技法のコストが高いために、残りの88%（約53億人）の市場には、プラスチックの包装機能の恩恵は必ずしも行き渡っていない。

プラスチック包装の機能の発展は包装商品の大量生産を可能にして、小量包装や使用単位の小分け包装（ポーションパック）を発展させている。

欧米では有害物の意識的な混入防御対策（テロ対策）にプラスチックの機能を利用した使用単位包装（ポーションパック）にも発展している。ポーションパックの廉価化は、近々に予測されている飲料水、食料の供給危機において、無駄の排除、効率的供給と物流にも貢献できると期待されている。

プラスチックを包装に利用する場合、フィルムやシートからの製袋、容器の成型や封緘には簡易な加熱と冷却で接着が完成できる熱溶着（ヒートシール）法が適用されている。

レトルト食品に代表される調理済み食品、乳幼児用品、介護用品、注射薬剤、服用薬品、菓子類、トイレタリー品、電子部品、精密機械部品等の熱溶着（ヒートシール）の適用された包装製品は毎日、日本国内では1日一人当たり、10ヶ以上も使用されているも

のと推定できる。すなわち10億個/日以上的大量の熱溶着（ヒートシール）製品が市場に登場、消費していることになる。熱溶着（ヒートシール）では、数十度から百数十度の熔融温度以上の加熱と熔融温度以下への冷却によって、容易に接着ができるので、プラスチックの普及と共に半世紀以上も前から利用されてきている。熱溶着（ヒートシール）の不具合には、加熱不足、破袋、ピンホールがある。その発生の検査は、熱溶着後の製品の抜き取り品の引張試験等の接着強さ破断試験によって行われてきている。

3) ,4) ヒートシールの加熱温度を直接的な管理指標とする検討が行われていない課題が今日も世界的に継続している。結果として、目的以上の材料の厚肉化、高温耐性材料の採用が行われ、袋や容器のコストがかさんでいる。

本研究は従来の定性的・経験則的な解析と検討方法の改善を目的として、プラスチックの包装材料の熱溶着（ヒートシール）における検討を、熱溶着の溶着面温度をパラメータにして、包装材料の固有特性を確実に発揮させる加熱方法の最適化に取り組んだものである。

1. 2 プラスチックの熱溶着性改善の沿革

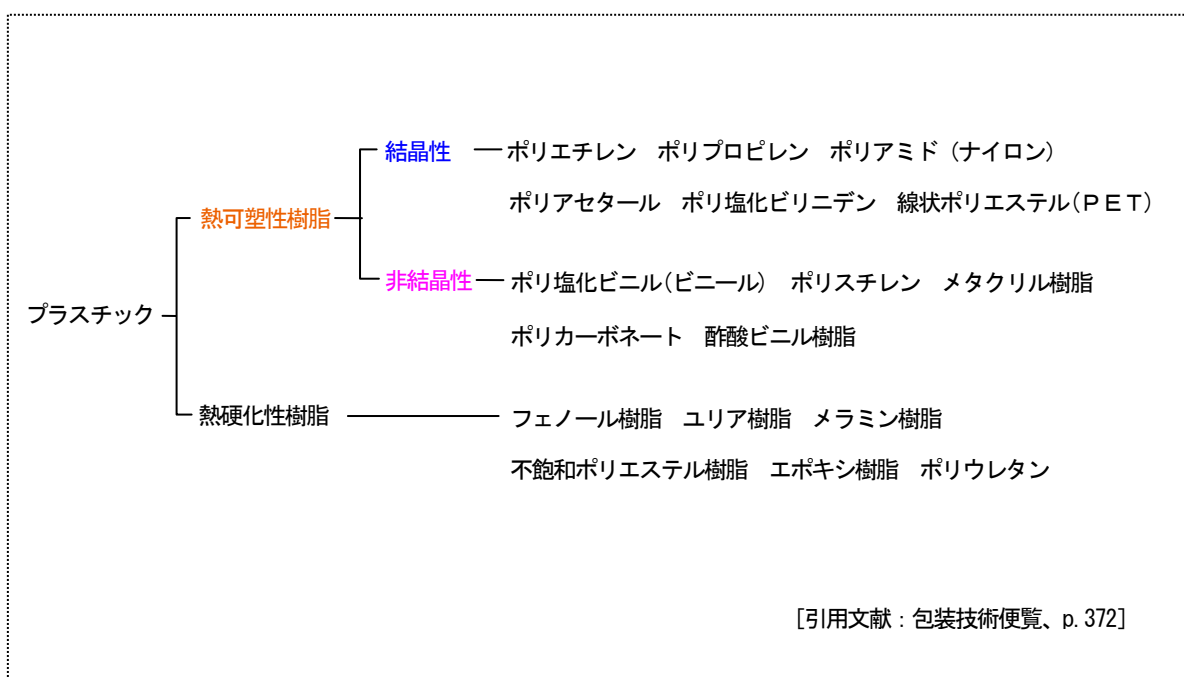
プラスチックを「加熱による挙動」で分類をTable1-1に示した。

合成プラスチックの熱可塑性特性を利用したプラスチック製品は金属材料等の古来の代替品として広く普及した。軽く、廉価で簡単な加熱操作によって容易に容器や袋が生産できるので、プラスチックの包装資材への汎用化も1940年代以降に普及して、ガラス、金属、磁器に代わって包装分野の大革新をもたらした。単に機械的な接着や単純な包装では良かったが、今日では気密性や微生物侵入の防御性が要求されるようになってきた。

接着は二つの接着面の分子の結合によって成立する。それには大別して二つの方法があって、各々の接着面を直接イオン化させて結合する場合と介在物（接着剤）とそれぞれの接着面のイオン化結合（共重合）を利用する。熱可塑性のプラスチックの熱溶着（ヒートシール）は加熱エネルギーによって溶着面を直接イオン化させて、結合後、速やかに冷却して接着を完成させる前者の方法である。ガスバリア性の改善、印刷仕上がりの改善や熱溶着（ヒートシール）の安定化に使われるラミネーションフィルムは異種のフィルムの貼りあわせの接着には、接着層（アンカーコート材）の共重合を利用している。

Table 1-1 Plastic type (Behavior classification by the heating).

プラスチックの種類 (加熱による挙動分類)



[引用文献：包装技術便覧、p. 372]

熱可塑性のプラスチックは熱溶融するが酸素、水分、ガス類の透過性を多少とも有している。ピンホールの発生等を起こさない適切な条件の気密性のある接着が要求されている。単一フィルムでは、ピンホールの発生等の熱接着欠陥が多く見られ、目的のシールができなかった。熱溶着（ヒートシール）の不安全な接着の回避と共にガスバリア性を両立させるために、それを改良する方法として機能の異なる2種以上のフィルムを貼り合わせるラミネーション技術が台頭し、発展した。

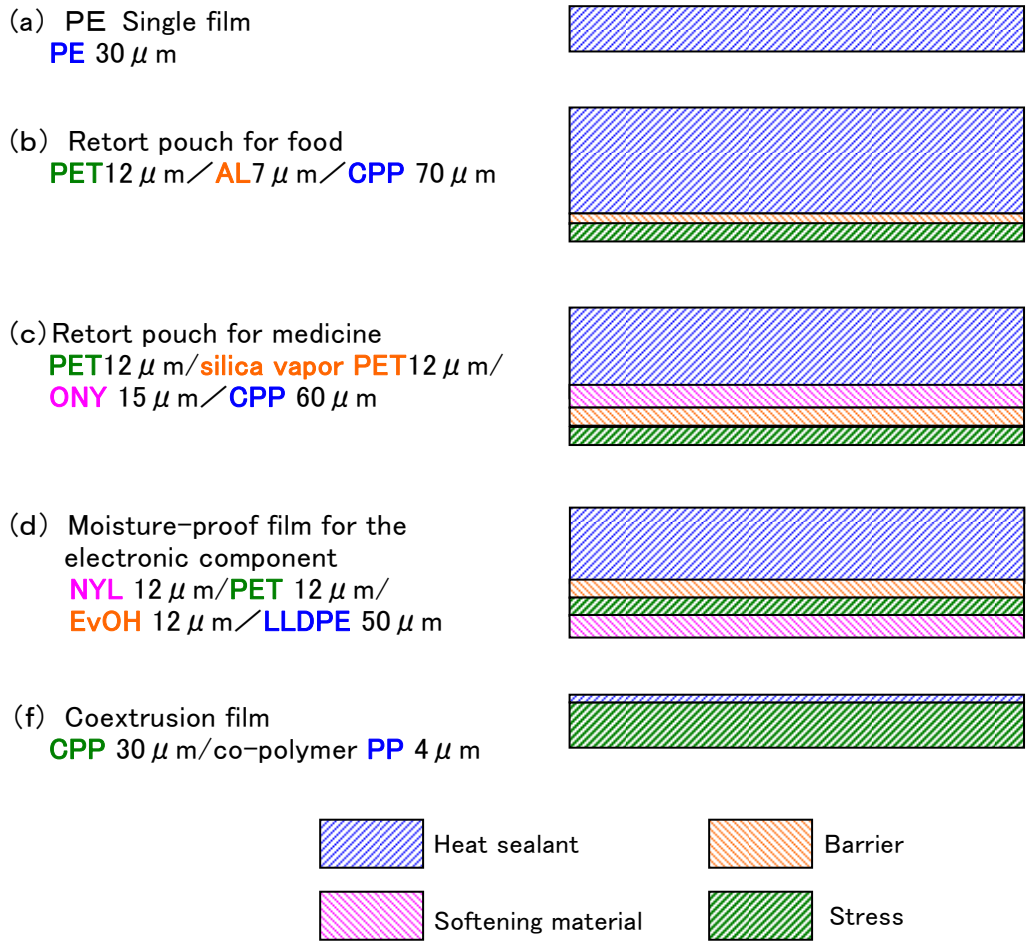
代表的な包装用のフィルムの構成例を **Fig. 1-1** に示した。

熱溶着層（ヒートシーラント）は加熱時には軟化／溶融するので外部応力で容易に変形又は切断するので、ラミネーションの表層材はヒートシーラントの溶融温度より高いものが選択され、耐応力基材の機能も持つように設計されている。

今日、PE（ポリエチレン）、PP（ポリプロピレン）がヒートシーラント材として汎用化されている。ヒートシール強さの確保と保証が確実にできなかった過去においては、ヒートシーラントには接着強度の確保と向上、ヒートシール面に微細な異物の挟み込みでも熱溶着の完成ができることが期待されていた。更に、高温加熱においても熱変性の影響の少ない材料の開発が期待されてきた。

1979年にDow社がヒートシーラントに、直鎖状低密度ポリエチレン(L-LDPE)⁵⁾を発表した。L-LDPEは分岐 Polymer の長さが短いので熱溶着特性が改善されている。L-LDPEは高温・高圧化下でラジカル重合ではなく、イオン重合で合成される。そのため熱溶着の再加熱の際に酸化（ラジカル）が起こりにくく、重合の切断が少ないので、熱溶着（ヒートシール）温度帯で熱変性の小さい好ヒートシーラント材料として今日も非常に普及している。熱溶着（ヒートシール）の基本は **Fig. 1-2** に示したように熱可塑性の材料（プラスチック）の溶着面の温度を適正範囲に上昇させた後に直ちに冷却することである。

実際には温度調節が巧みいかず、これが過加熱であったり、不足することによって諸課題が発生している。この図は加熱温度が $[T_n]$ の場合であり、加熱温度が変われば同様な適正条件が指定される。実際はこの中から1点の条件が選択され、加熱温度と加熱時間が決定される。加熱温度と熱溶着強さ（ヒートシール強さ）の発現から完成までの関係を **Fig. 1-3** に示したように、ヒートシール強さの立ち上がりは、Polymer の重合度が影響する因子となっている。



(g) Electron micrography of retortable pouch for the food
(Source: IAA center for Food Quality, Labeling and Consumer Services)

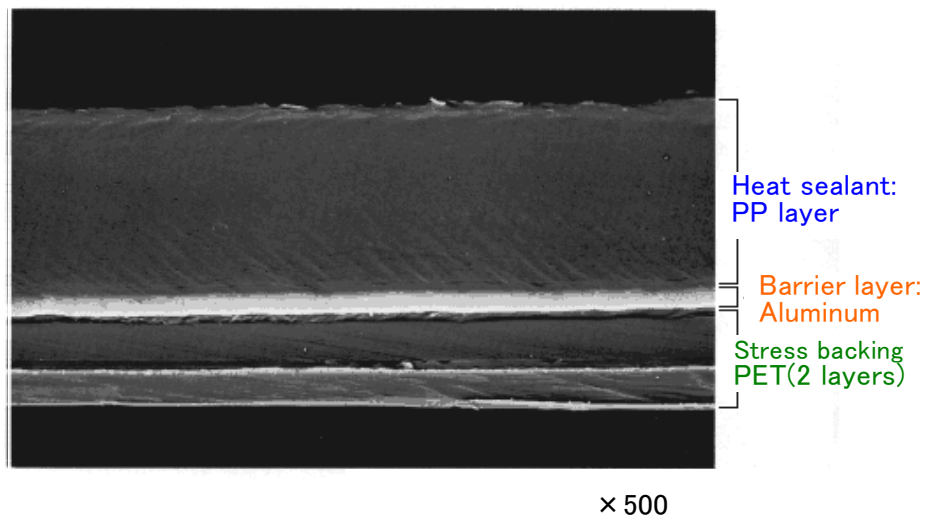


Figure 1-1 Configuration example of a plastic film for the packaging

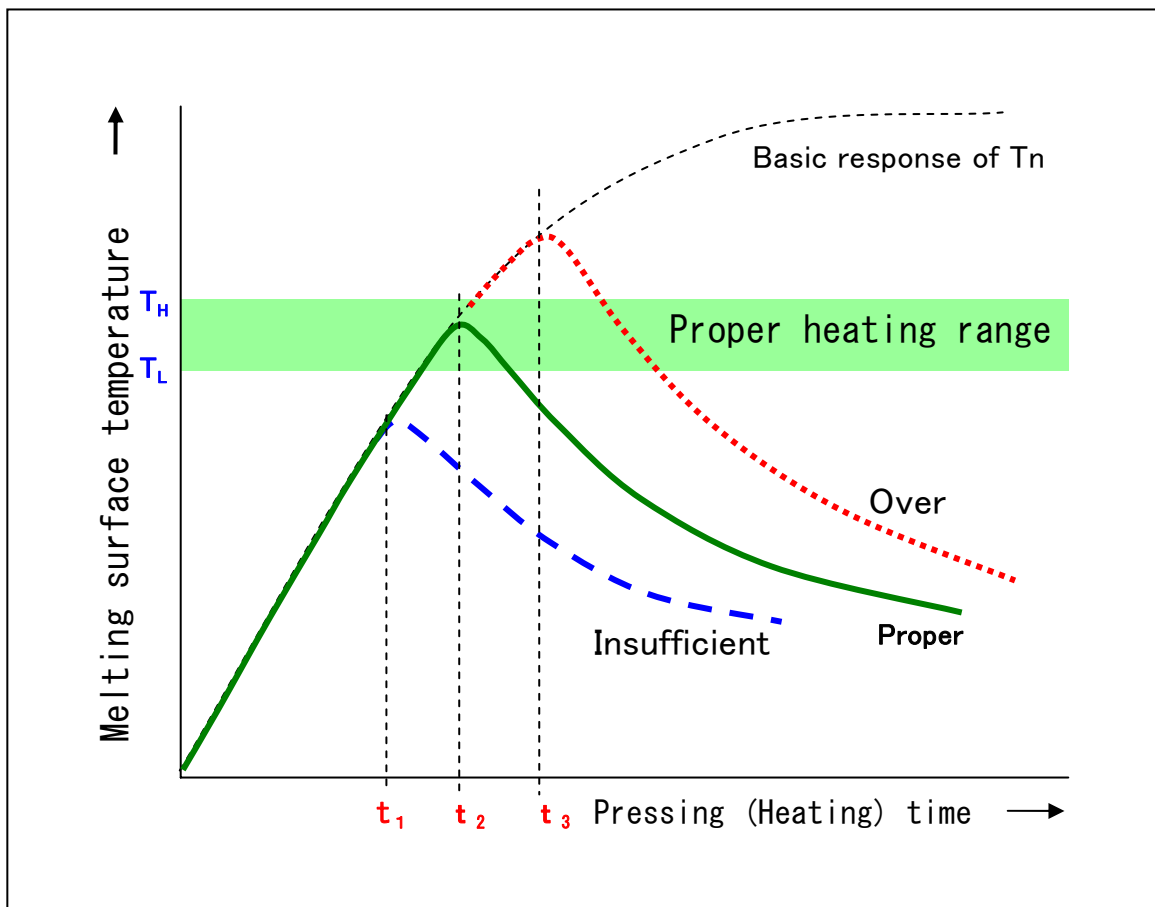
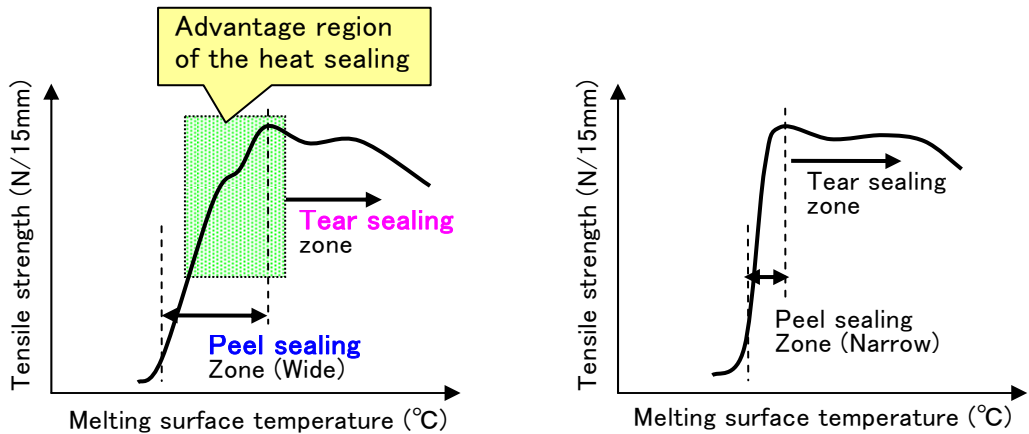


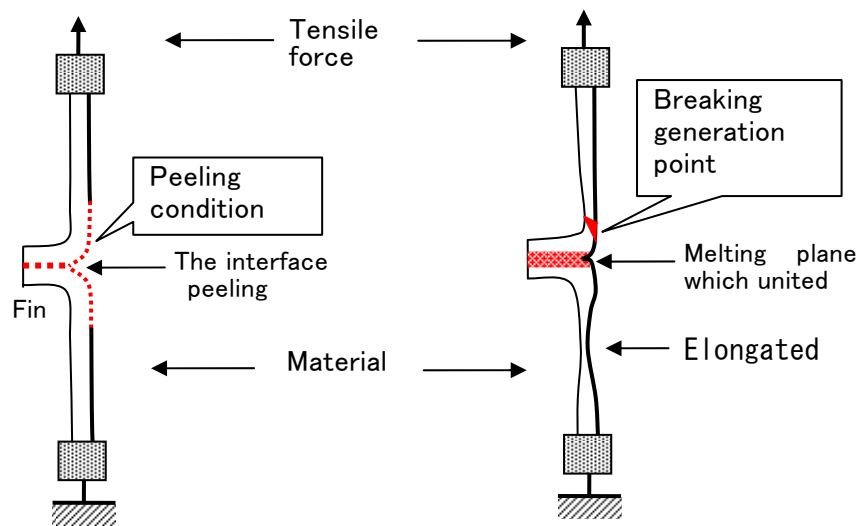
Figure 1-2 Fundamental response of the melting surface temperature in heat sealing



(a) Heat seal tensile strength pattern such as the PP co-polymer

(b) Heat seal tensile strength pattern such as the PE of medical grade

Figure 1-3 Expression situation of heating temperature and thermo bonding strength of the welding plane



(a) Failure mode of Peel sealing

(b) Failure mode of Tear sealing

Figure 1-4 Failure mode of Peel and Tear sealing

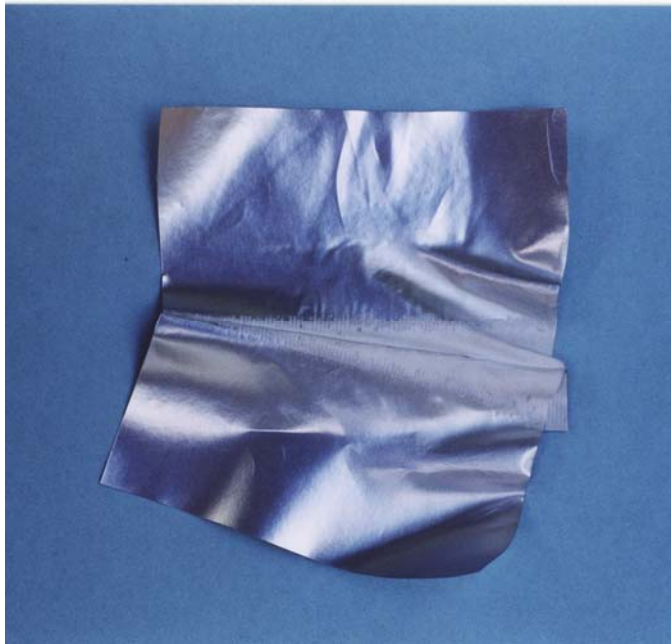
医薬用の包装材料では高ヒートシール強さが必要なため高分子重合度率の高いものが使用される。**Fig. 1-3 (b)** はPEの例で、2～3℃の狭い温度帯で軟化から熔融に至っている。加熱温度によって変わる界面接着 (Peel seal; 剥がれシール) と熔融接着 (Tear seal; 破れシール) の状態を **Fig. 1-3** に示したが、熔融接着の場合は包装材料の溶着線に包装材料の破断強さ以上の破壊力を与えないと開封できない。包装材料メーカーは密封性の確実を図るために、より強いヒートシール強さが出せる努力をしているが、消費者は使い勝手のよい易開封性 (イージーピール性) を要求している。

G. L. Hoh 等 (Du Pont 社) は1980年前後にPPに10%程度の金属イオンの混入やCo-Polymerを生成することによって、熱溶着の立ち上がりから熔融に至る温度帯を7～10℃程度に拡大し、加熱温度に対してヒートシール強さが連続的に変化するようにしたヒートシーラントを開発している。⁶⁾ 2000年代になって、この提案はメタロセン触媒の開発と相俟って、より正確な重合が調節できるようになって、加熱温度帯の拡大された各種のCo-Polymerの生成が可能になった。このPPは包装材料に全面的に展開され、Peel Sealの容易なヒートシーラントの供給に貢献している。⁷⁾ しかし、今日においても溶着面温度の加熱方法の最適化の十分な管理がなされていないから、**Fig. 1-3** に示している包装材料の持つ熱溶着 (ヒートシール) 特性のPeel sealからTear sealへ移行する領域の特長が有効に利用されていない課題が継続している。

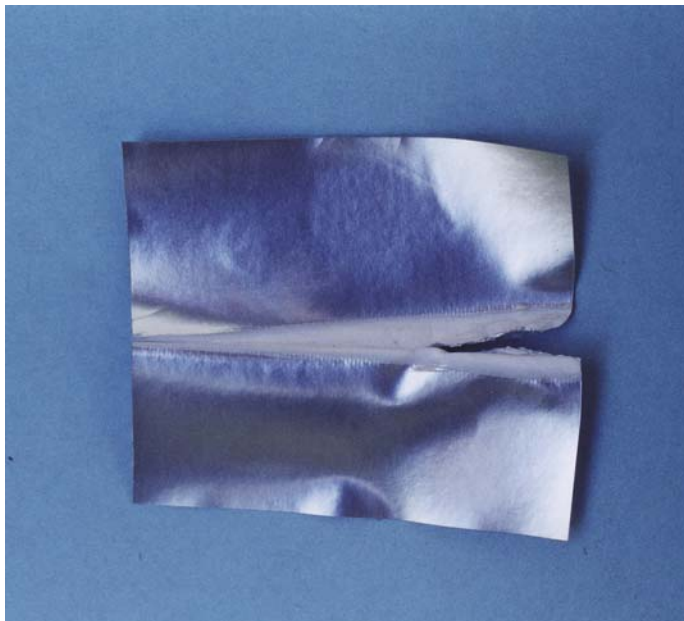
1. 3 熱溶着 (ヒートシール) の加熱方法の最適化の課題

熱溶着 (ヒートシール) は加熱温度の上昇と共に固体状から軟化-熔融 (液状) 状態に変態する。軟化から熔融状態までと熔融状態の接着メカニズムは異なっている。前者は接触面の界面接着 (Peel seal) であり、後者は熔融混合接着 (Tear seal) となる。熔融状態の高温領域でプラスチックは未重合混合物の気化、解重合、浸透酸素の結合等による変性を起こし、強度劣化が発生する。

包装におけるプラスチックのフィルムやシートは剛性が小さいので、熱溶着 (ヒートシール) 後の破壊応力は接着面の端辺に線状に負荷される筈である。応力が接着面全体にかかるわけではなく **Fig. 1-4** に示したように、Peel sealでは破壊応力に対して接着界面端から“剥がれ”を起こすがTear sealでは接着面は熔融状態で一体になるので接着面は明



(a) Peel sealing [Heated at 155°C]



(b) Tear sealing [Heated at 170°C]

Photo 1-1 Sample of Peel and Tear sealing

Material: Retort pouch [PET12/AL7/PP70]

確には存在せず、加熱部分と非加熱部分の境界線付近から伸長“破れ”（破断）を起こす。これらの現象は加熱温度によって一元的に決定される。加熱温度と熱溶着の発現と溶着状態の説明を Fig. 1-3 に示した。

実際のレトルトパウチの剥がれシール (Peel seal) と破れシール (Tear seal) の状態を Photo 1-1 に示した。

加熱温度の最適化研究の課題は、加熱温度の定量的把握と熱溶着に Peel seal 又は Tear seal 領域のどちらを適用するかのも明確な方策を提示するところにある。

従来のプラスチックの包装材料の熱溶着（ヒートシール）の可、不可の定性的な判定は、加熱体の温度設定を試行錯誤によって変更し、加熱後のサンプルの溶着面の引き裂きの目視試験で評価されている。この方法では加熱不足の失敗は容易に判定できるので広く（世界的に）判定手段として普及している。

しかしこの方法は加熱情報を直接的に把握していないので、適正加熱範囲の定量化や過加熱の評価が困難であり、多くの場合、失敗を恐れる余り過加熱に陥っているため、Tear Seal を起こす。従って破れシールの方が安全性があるものとして常識化している。更に、加熱条件は現場毎に試行錯誤の加熱設定が行われていて、この運転情報が定量化していないので、相互互換性がなく条件設定の不具合の追及ができないため、熱溶着（ヒートシール）の信頼性保証が困難となっている。この結果、従来の方法では過加熱 (Tear Seal) で起こるピンホール、エッジ切れの不具合の原因になっていたり、合理的な対策が実施されず、熱溶着（ヒートシール）の信頼性の課題が継続している。例えば、レトルト袋のヒートシーラントが $70\ \mu\text{m}$ もの厚さの包装材料が業界では常識化して、熱溶着（ヒートシール）の信頼性向上のために、競ってより厚いものを取り扱われている。このように接着性能を高めるために、レトルト包装ではコストのかかる対策が採られているため、材料特性を十分生かせず、パウチもコスト高になり、レトルト包装の（全世界的な）普及遅れの要因にもなっている。

《医薬品、食品の包装》の「危機管理」（重点品質管理）の項目として3項目が提起されている。⁸⁾ この項目の発生原因と防御対策項目を整頓すると Table1-2 のようになる。この表から分かるように、微生物の侵入防御の保証項目とガスバリア機能の維持に熱溶着（ヒートシール）が重要な位置を占めている。

Table 1-2 Positioning of heat sealing in a packaging function

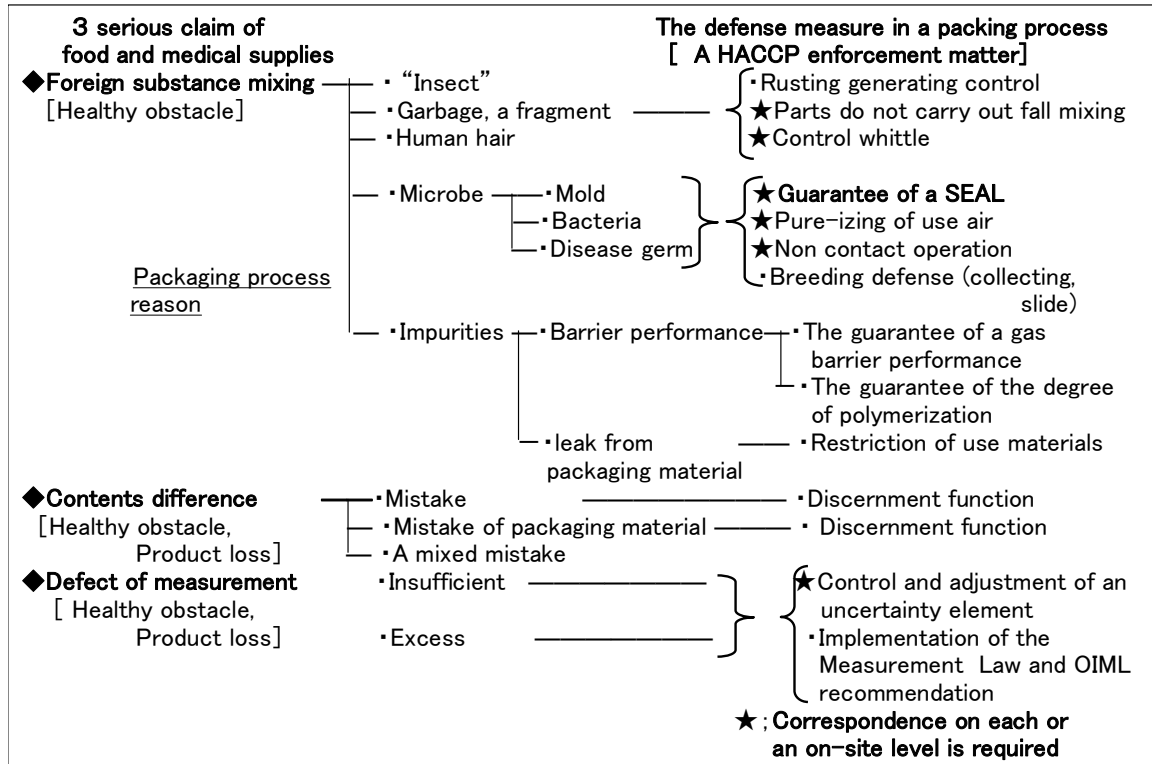


Table 1-3 Kind and characteristics of heat sealing technology

Method	Heating Surface		Principle of Heating	Characteristics	Use
	Double	Single			
(1)Heat Bar	○	○	Conduction from Front Surface	-Big Capacity of Heating (Double) -Influence of Cradle Temperature (Single)	-Lamination Film -Single Layer Film
(2)Impulse	(○)	○	Conduction from Front Surface	-Small Capacity of Heating -Heat Seal Fin is Small -Easy Use, Low Cost	-Single Layer Film -Lamination Film (Thin)
(3)Hot Air	○	○	Blow of Hot Air	-Direct Heating for Melting Surface -Influence is Small of Heat Conductance of Base Material	-Paper Carton -Tube
(4)Ultra Sonic		○	Energy Loss Spread Division	-Influence is Small of Heat Conductance of Base Material -Inappropriate Character for Metal Material	-Single Layer Film (Heavy)
(5)Induction		○	Joule Heat of Conduction Material	-Need of Metal Material -Heating Only Circumference	-Metal Multi-lyre Film -Heating Only Circumference
(6)Electric Field	○	(○)	Flush of Electric Loss	-Influence is Large of Water Content of Base Material	-Paper multi Layer Sheet
(7)Hot Wire		○	Conduction from Front Surface by Heating wire	-Small Capacity of Heating Cutting with Sealing	-Single Layer Film (Thin)

従来の熱溶着（ヒートシール）技法は半世紀以上もの長い間「温度」、「時間」、「圧力」が管理項目として挙げられている。しかし各項目の設定の明快な定義がなされていなかったため、各項目はそれぞれの現場（世界的な）において経験則やそれぞれの解釈によって維持されてきている。以上のことから筆者らは汎用化された定量的な解析と評価方法が確立していない熱溶着（ヒートシール）の領域で信頼性保証体制を確立することを目指している。熱溶着（ヒートシール）の確実な達成方策は、いかに熱溶着層（ヒートシールラント）を適切な溶融温度に加熱するかである。加熱方法は包装材料の構成、形状等から今日、Table1-3 にまとめたような方策が使用されている。

熱溶着（ヒートシール）の完成を理論的に解析すると、加熱方法に関係なく以下の4項目を計測確認する必要がある。

- (1) 溶着層の溶着温度
- (2) 溶着層が溶着温度に到達した確認
- (3) 溶着層が溶着温度に到達する時間
- (4) 被加熱材料の熱劣化温度

この計測4項目の相互関係を Fig. 1-5 に示した。

本研究の目的は

1. 熱溶着の解析と検討に不可欠な厚さの数 $10\ \mu\text{m}$ の包装フィルム¹⁾の微細部位の温度を高速、高精度で簡易に計測する溶着面の温度計測技術の検討。
2. 溶着面温度の計測技術を利用して、
 - (1) 定着している従来法の定量的な検討
 - (2) 高精度、高速の溶着面の計測技術を利用して、破れシール (Tear Seal)、剥がれ (Peel Seal) の特性解析と溶着現象の適正利用法の検討
 - (3) 熱溶着の「最適加熱範囲」を適用した加熱方法の最適化によるヒートシールの信頼性の確立
 - (4) 溶着面温度をパラメータにした熱溶着（ヒートシール）技法の改善
 - (5) 新熱溶着（ヒートシール）技法による包装資材の有効利用と省資源、そしてコスト低減による包装技法の全世界への平等活用の提言を目指すことである。

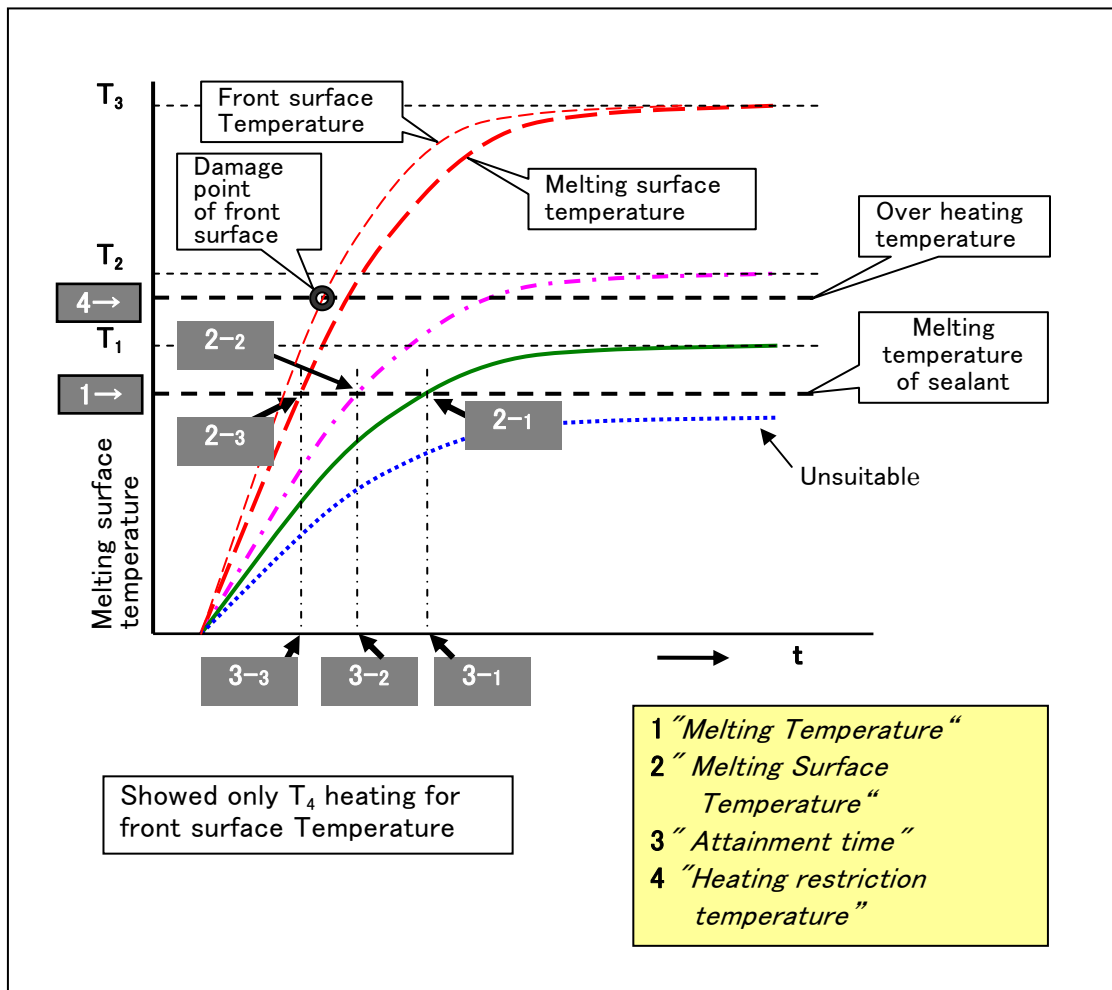


Figure 1-5 Mutual relationship of completion confirmation element of heat sealing

1. 4 参考文献

- 1) 日本包装技術協会、平成 16 年日本の包装産業生産出荷統計、「包装技術」、
第 43 巻、第 6 号 p. 4, 2005
- 2) VDVM, interpack 2005 プレス資料、April, 2005
- 3) JIS, JIS Z 0238; 7 項 (1998)
- 4) ASTM Designation: F88-00
- 5) C&E News, Oct. 29, 8 (1979)
- 6) G. L. Hoh 等、U. S. Patent、4, 346, 196, Aug. 24, 1982
- 7) 大森 浩、ポリオレフィン材料の基礎 (その 2)、
第 33 回日本包装学会シンポジウム要旨集 p. 33 (2004)
- 8) 味の素 (株)、品質管理重点事項、(1980)

第2章 従来の熱溶着（ヒートシール）の 解析と評価法の概説

従来の熱溶着（ヒートシール）の解析／評価方法の規範としてよく使われている日本の JIS や各国が参考にしているアメリカの A S T M に付いて概説する。

2. 1 A S T M *Standards* の解析／評価法

A S T M (American Society for Testing and Materials) の熱溶着（ヒートシール）の解析／評価法は世界的な規範として利用されている。

熱溶着（ヒートシール）に関する項目は以下のように構成されている。

D 882 Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting

D 903 Test Method for Peel or Stripping of Adhesive Bonds

D 996 Terminology of Packaging and Distribution Environments

(D 1898 Practice for Sampling of Plastics)

D 3078 Test Method for Determination of Leaks in Flexible Packaging by Bubble Emission

D 4169 Practice for Performance Testing of Shipping Containers and Systems

D 4332 Practice for Conditioning Containers, Packages, or Packaging Components for testing

E 122 Practice Choice of Sample Size to Estimate Measure of Quality for a Lot or Process

E 171 Specification for Standard Atmospheres for Conditioning and Testing Flexible Barrier Materials

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

E 515 Test Method for Leaks Using Bubble Emission Techniques

E 1316 Terminology for Nondestructive Examinations

F 17 Terminology Relating to Flexible Barrier materials

- F 88** Test Method for Seal Strength of Flexible Barrier Materials
- F 1140** Testing Methods for Failure Resistance of Unrestrained and Nonrigid Packaging for Medical Applications
- F 1327** Terminology Relating to Barrier Materials for Medical Packaging
- F 1585** Standard Guide for Integrity Testing of Porous Barrier Medical Packaging
- F 1608** Test Method for Microbial Ranking of porous Packaging Materials (Exposure Chamber Method)
- F 1886** Test Method for Determining Integrity of Seals for Medical Packaging by Visual Inspection
- F 1921** Standard Test Method for Hot Seal Strength (Hot Tack) of Thermoplastic Polymer and Blend Comprising the Sealing Surface of Flexible Web
- F 1929** Test Method for Detecting Seal Leaks in Porous Medical Packaging by Dye Penetration
- F 1980** Guide for Accelerated Aging of Sterile Medical Device Packages
- F 2054** Standard Test Method for Burst Testing of Flexible Packaging Using Internal Air Pressurization Within Restraining Plates

本研究に関連又は波及する項目は

D 882, D 903, D 996, D1898, D3078, D4169, E 171, E 515, F 88, F 1140, F1585, F 1608, F 1886, F 1921, F 2054

である。（上記の関連項目は太字にしてある）

2. 2 J I Sの解析と評価法

日本国内においてはJ I Sの熱溶着（ヒートシール）の解析／評価法が広く規範として利用されている。

熱溶着（ヒートシール）に関係する規格は以下のようになっている。

Z 1702 包装用ポリエチレンフィルム

Z 1707 食品包装用プラスチックフィルム

Z 1711 ポリエチレンフィルム製袋

Z 0238 密封軟包装袋の試験方法

以上の中で熱溶着（ヒートシール）による封緘性の解析／評価は **Z 0238** が主体的に位置付けられ他の規格では **Z 0238** を準じて使用されている。

2. 3 従来の解析と評価法の考察

2. 3. 1 ASTMとJISの相違

ASTM *Standard* と JIS の規格の互換性は試験方法に付いては類似性があるが、規格値に付いては必ずしも一致していない。

JIS Z 0238 は包括型の規格になっていて、ASTM のいくつかの項目が包含されている。JIS Z 0238 を元にして相違を比較する。

JIS Z 0238（密封軟包装袋の試験方法）[1998 版]の構成項目と ASTM の関係を以下に列挙する。

1. 適用範囲
2. 引用規格
3. 定義
 - a) ヒートシール軟包装袋、b) ヒートシール半剛性容器、
 - c) ヒートシール強さ、d) 破裂強さ、e) 落下強さ、f) 耐圧縮強さ、
 - g) 漏えい 等
4. 試験項目
 - a) 袋のヒートシール強さ試験 [ASTM F88-00]
 - b) 容器の破裂強さ試験 [ASTM なし]
 - c) 落下強さ試験 [ASTM D 4169]
 - d) 耐圧縮試験 [ASTM F2054-00]
 - e) 漏えい試験 [ASTM D 3078]
5. 試験の一般条件
6. 試料の作製
7. 袋のヒートシール強さ試験 [ASTM F88-00]

7.1 試験装置、7.2 試料、7.3 操作、

※袋の使用目的に応じたヒートシール強さの目安の一覧表が提示

- 8. 容器の破裂強さ試験 [ASTM なし]
- 9. 落下試験強さ試験 [ASTM D 4169]
- 10. 耐圧試験強さ試験 [ASTM F2054-00]
- 11. 漏えい試験 [ASTM D 3078]
- 12. 試験数値も丸め方
- 13. 報告

2. 3. 2 従来の解析と評価法 の特徴と課題の考察

J I Sは最低限の基準であるが提示されている項目に従って、熱溶着（ヒートシール）の信頼性の確保の根拠になっている規定に注視して、加熱温度に関する課題は、筆者の経験によれば以下のものがある。

(1) 熱溶着（ヒートシール）は熱現象の制御であるが、加熱温度がパラメータに位置付けられていない

(2) 規格が求めているのは、広い巾の平均的熱溶着結果で、材料の基本的熱接着強さ。

[この不具合の原因解析は（第6、7、8、10章）で述べる]

J I S : 15 mm [JIS Z 0238 7.2]

A S T M : 25.0, 15又は25.4 mm (1") [F88-00, 9.2]

(3) ヒートシール線への直角応力の付与を前提にしているので、引張試験のグリップ間距離の長さが大きくサンプルの伸び応力の中にヒートシール強さが埋まってしまう

J I S : 100 mm以上 [JIS Z 0238 7.2]

A S T M : 152 mm (6") [F88-00, 9.2]

(Fig. 2-1 参照)

(4) 包装材料の固有性能を安定的に測定することを目的にサンプリング個所をしているので、実際の不具合頻発個所が指定されていない

J I S : [JIS Z 0238 7.2]

A S T M : [F88-00, 6.2]

(5) 引張強さ測定値が最大値の採用になっている。出来上がった包装製品における負荷現象は1mm以下の微細部分に起こっており、規格の試験結果の汎用性に課題がある。

J I S : 最大値 ; [JIS Z 0238 7.3]

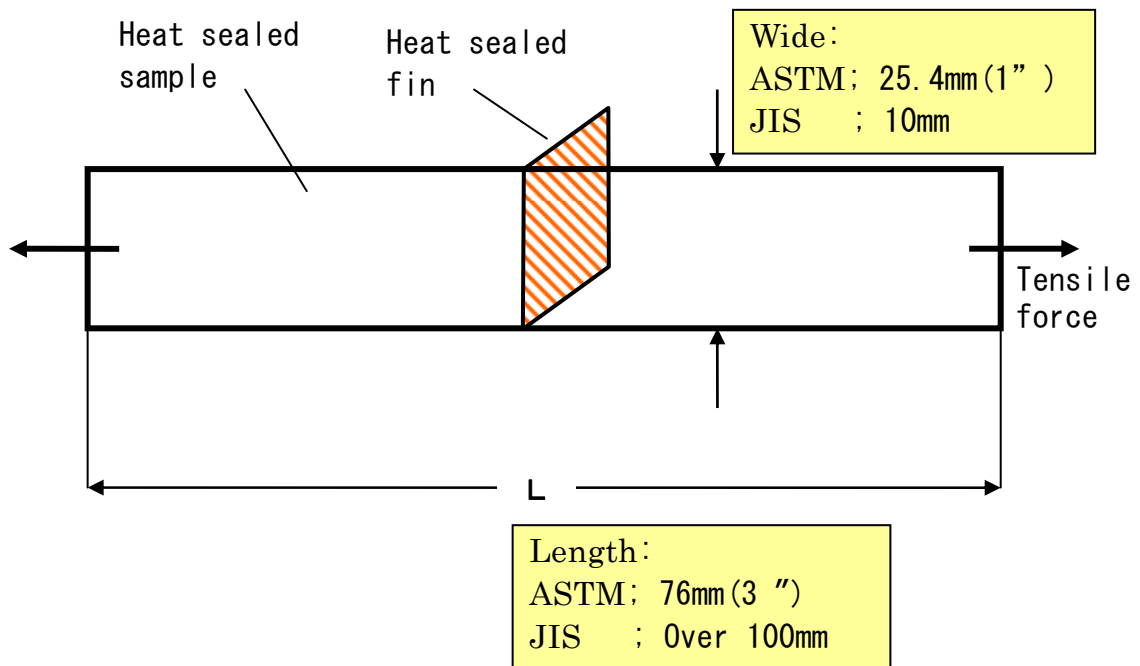
A S T M : (立ち上がり後の) 平均値 ; [F88-00, 8.8.1]

本研究では、これらの諸課題の改善方法を明確に提示する。

提起した課題の改善方法は《第14章の総括:14.4.1》で具体的に列挙する。

A S T M [F88-00, 10.1.14] には熱溶着 (ヒートシール) の引張試験後の壊れ状態を示しているが、(Fig. 2-2) この発生メカニズムに言及していないが、試験結果にどの破れ方が相当するかを記述するようにとのコメントがあり、注目すべきことである。

本研究の結果を反映させたコメントを (第14章の総括 14.3) に記述する。



Figurer 2-1 Specimen dimensions of heat sealing sample for tensile testing in ASTM and JIS

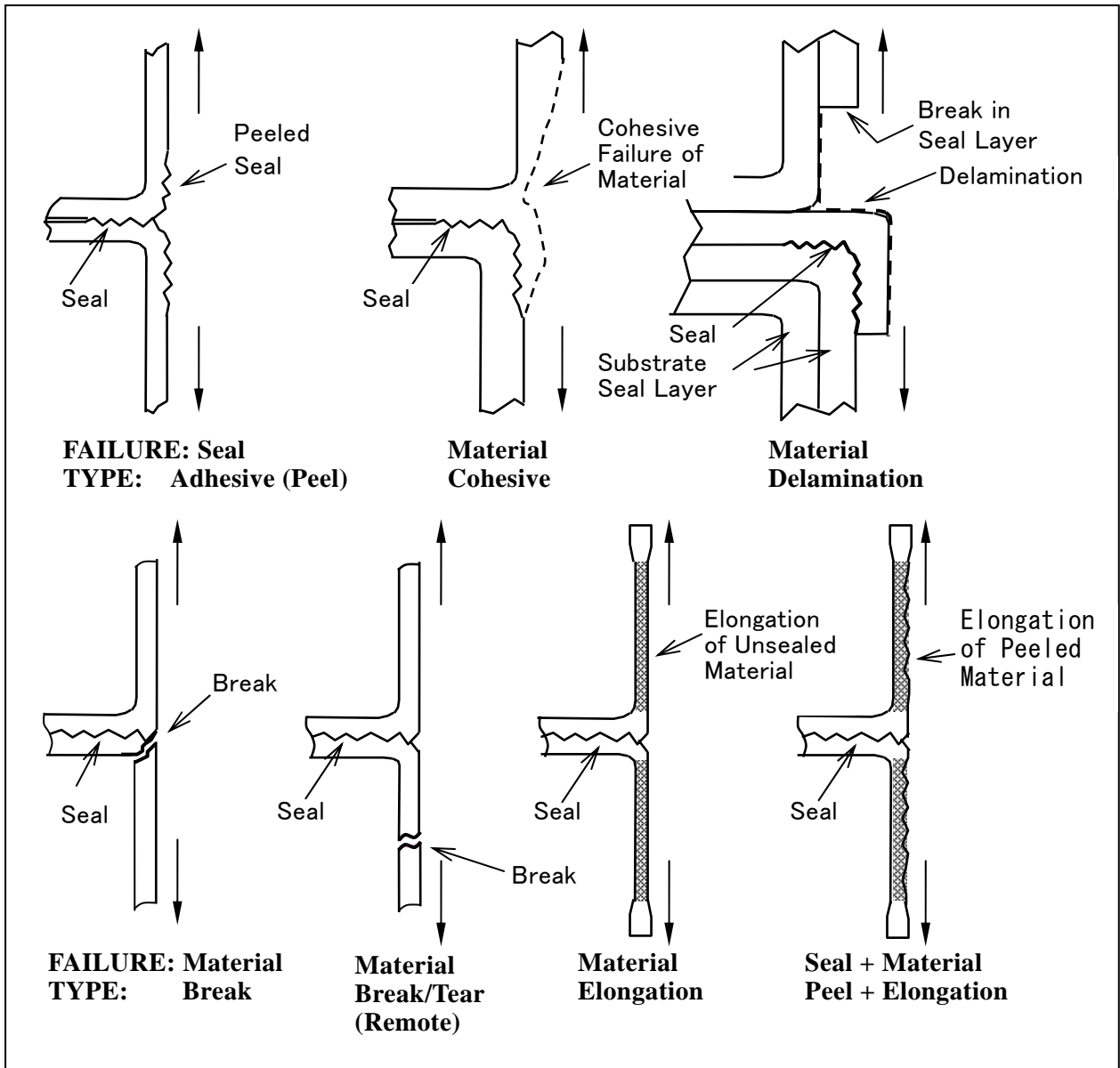


Figure 2-2 «ASTM Designation: F 88-00» **FIG. 4 Test Strip Failure Modes**

第3章 溶着面温度測定法の開発

3. 1 緒言

3. 1. 1 本研究の概要

プラスチックの包装資材は機能性、取り扱い性、コストの面から今日の日常生活の合理化に多大な貢献をし、不可欠なものとなってきている。

プラスチック資材を利用した容器や袋の製袋と封緘に適用されている熱溶着（ヒートシール）（以下ヒートシールと表す）技法は、分子レベルの溶着が簡易な技法で達成できて、気密性と微生物侵入の制御がほぼ完璧に達成できる能力を有している。このために、接着面の確実な溶着を必要としている。通常に製造されたプラスチックの熱特性の再現性は非常に高いので、定量的に温度管理されたヒートシール技法の環境下では仕上がったヒートシールは高い信頼性が期待できる。

ヒートシールの制御要素として、「温度」、「時間」、「圧着力」が広く知られている。

主制御要素である「温度」に対する定義は、材料設計の立場からは、溶着面を「熔融温度」に確実に達成することであるにもかかわらず¹⁾、世界的に観ても数十年の間、加熱体（加熱源）の出力調節に依存した“間接的な方法”で条件設定が行われている。

溶着完成の確認は、現場の製造設備の生産を中断して、運転速度と加熱温度を変化させて得られたヒートシールサンプルのヒートシール線に「引き裂き」、「加圧」等の応力を加えて剥離、破れ状態の事後検査測定／観察で評価^{2)・3)}している。

このために

- (1) 材料の持つ固有の性能を確実に発揮できない。
 - (2) 確実な信頼性の保証を提示できない。
 - (3) 条件設定に大量の資材、手間、時間を要している。
 - (4) 更に製品の歩留まり、安全率を高くするために資材の高級化等のコストアップになっている。
 - (5) ヒートシールのHACCP、「悪戯防御」の要求に対応できる論理確立ができない。
- 等の課題を内在している。

実際的には

- (1) 実際の設備の長時間の生産休止に稼働率ロス（品種毎）
- (2) 数千回に相当する大量のテスト資材の消費ロス
- (3) テスト運転とテスト結果の人手評価（観察評価）
- (4) 溶着面の温度が直接の管理になっていないので、加熱条件は高めに設定することになり、ヒートシール部分に熱劣化を与えることが多い
- (5) 多層フィルムの接着層に対する熱劣化の考慮ができない
- (6) “イージーピール”のような層間剥離を計画的に行わせる制御が困難
- (7) 運転状態の定量管理ができないので顧客に対するシール保証契約ができない
- (8) ヒートシールの品質管理が定量的にマネジメントできないので何時も不安が付きまとう。
- (9) 包装設備に設計、製作にヒートシール条件の仕様が定量的に提示されないので、製造条件の事前確認ができず、製造立ち上げに苦勞する

の課題が存続している。

本研究はプラスチック資材のヒートシール加工の際の溶着面温度を直接測定する方法の開発を基にヒートシールのメカニズムの理論的解明を図り、プラスチック資材の有効利用に貢献しようとするものである。

本研究の基本である溶着面温度の測定法に「溶着面温度測定法」(MTMS)と名付けた。溶着面温度測定法(MTMS)は溶着面に 10~40 $\mu\text{m}\phi$ の微細センサを挿入して溶着面の温度を直接測定し、この情報を元にヒートシールのあらゆる解析と制御法の検討に適用した。本章では、最も普及しているヒートジョー (Heat Jaw) によるケースを例にして論ずる。

["MTMS"; Measuring Method for Temperature of Melting Surface]

3. 1. 2 溶着面温度測定法 (MTMS) の概要

ヒートシール技法の重要な点はヒートシーラントを所定の熔融温度に確実に到達させることであるが、従来この理論的な検討方法が見出せなかったので加熱源の温度や超音波加熱、電磁加熱の場合は電気出力等の間接的な管理方法によってヒートシール条件が決められていた。従来の方法は適正調節範囲の調節性能が低かったので、包装材料側でヒ-

トシールの加熱温度帯がなるべく広くなるような考慮がなされてきた。¹⁾ しかし、ヒートシールの確実な達成には溶着面温度の直接測定情報は依然として不可欠である。

筆者はこれらの課題を解決するために実際の溶着面に微細センサを挿入して、リアルタイムでの溶着面温度を測定、解析する方法「溶着面温度測定法(MTMS)」を検討した。⁴⁾

3. 2 理論

3. 2. 1 ヒートシールの方式と特徴

ヒートシールは結晶性プラスチックの熱可逆性を利用した分子間接合技術である。

ヒートシールの完成には溶着層（ヒートシーラント）に適正な加熱を行うことが要求されている。ヒートシールの各加熱方式の加熱原理、特徴と用途をまとめると **Table3-1** のようになっている。

溶着面のみを選択的に加熱する方法があれば表層の熱伝達の影響を受け難く都合がよいが、あらゆる与件を満足する方法はなく、材料構成、用途に応じた方式選択が必要としている。

3. 2. 2 ヒートシールの熱流と温度分布

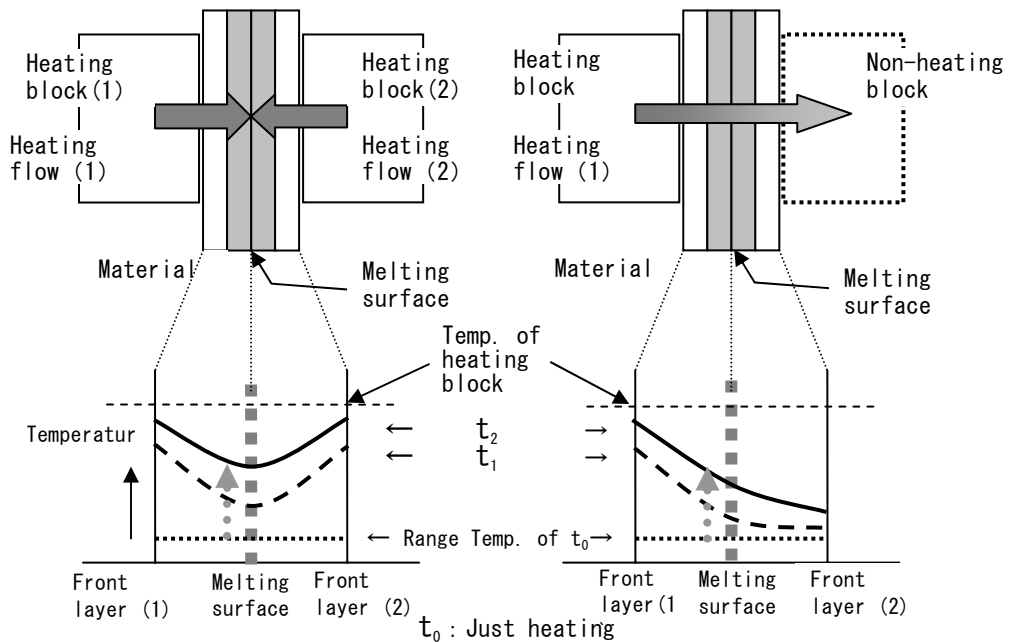
包装材料の表層から加熱した場合の熱流と包装材料内の温度分布のモデル化したものを **Fig. 3-1** に示した。(a) は両面同一温度の加熱の場合、(b) は片面加熱の場合を示した。同一温度の両面加熱の場合は熱流が溶着面に向かい溶着面が最低温となり、片面加熱の場合の熱流は非加熱側に向かって通過するので、非加熱面が最低温となるような分布をとる。包装材料内の温度分布は圧着後の時間経過と共に表層と溶着面は温度差を持ちながら上昇する。温度傾斜は加熱温度、包装材料の厚さと熱伝導特性によって決まっている。

両面加熱はヒートバー、電界シールの場合に相当する。片面加熱はインパルス、インダクションシールの場合に相当する。超音波、熱風加熱は複合型である。両面加熱の場合でも加熱温度が同一でない場合は、圧着直後は両面加熱の熱流が起こり、ある境界で温度が同一になると以降は片面加熱の熱流となる。

以上述べてきた方策を確認、達成するためには個々の加熱方法による溶着面のリアルタイムの温度応答を測定する必要がある。

Table 3-1 Kind and characteristics of heat seal technology

Method	Heating Surface		Principle of Heating	Characteristics	Use
	Double	Single			
(1)Heat Bar	○	○	Conduction from Front Surface	-Big Capacity of Heating (Double) -Influence of Cradle Temperature (Single)	-Lamination Film -Single Layer Film
(2)Impulse	(○)	○	Conduction from Front Surface	-Small Capacity of Heating -Heat Seal Fin is Small -Easy Use, Low Cost	-Single Layer Film -Lamination Film (Thin)
(3)Hot Air	○	○	Blow of Hot Air	-Direct Heating for Melting Surface -Influence is Small of Heat Conductance of Base Material	-Paper Carton -Tube
(4)Ultra Sonic		○	Energy Loss Spread Division	-Influence is Small of Heat Conductance of Base Material -Inappropriate Character for Metal Material	-Single Layer Film (Heavy)
(5)Induction		○	Joule Heat of Conduction Material	-Need of Metal Material -Heating Only Circumference	-Metal Multi-lyre Film -Heating Only Circumference
(6)Electric Field	○	(○)	Flush of Electric Loss	-Influence is Large of Water Content of Base Material	-Paper multi Layer Sheet
(7)Hot Wire		○	Conduction from Front Surface by Heating wire	-Small Capacity of Heating Cutting with Sealing	-Single Layer Film (Thin)



(a) Heating model of double heating (Same temperature)

(b) Heating model of single heating

Figure 3-1 Heating flow model of heating block with heat sealing action

特に片面加熱においての適正加熱条件は過渡応答状態のある範囲を選択する必要がある、溶着面温度計測が不可欠である。

3. 2. 3 包装材料の種類と加熱方法の選択

表層から加熱すると、その温度分布は Fig. 3-1 に示したように、両面加熱では両面、片面加熱の場合は加熱側の表層が最も高温になる。

単一フィルムの場合には表層から熔融状態になり、ヒートシール面を熔融状態にするためには表層部も液状になる。両面加熱の場合は、ヒートシール面が液状化した包装材料は工業的な取り扱いは困難となっている。

単一フィルムのヒートシールには、熔融状態にならない基材を必要で、インパルスシール方式のような片面加熱方式の選択によって、片方のフィルムが液状化しないようにしている。表層部にヒートシーラントより熔融温度の高い材料を張り合わせる（ラミネーション）ことにより表層部の液状化を防ぎ、基材部は確保できるので、両面加熱の高速性を発揮させるようにしている。

3. 2. 4 従来法の課題

従来のヒートシール調節は（加熱バー方式では）加熱バーの温度調節が条件設定の指標となっている。材料が替わるとその都度、実際の機械を長時間生産休止し、実際の材料を使い封緘し、ヒートシールテストのために大量の材料と人手を使い、加熱バーの温度と圧着時間の広範囲の変更の運転条件で得られた溶着サンプルを引張試験²⁾、³⁾によるヒートシール強さと観察による間接的な検査で評価している。

従来の方法では、キーとなる溶着面温度の情報がないので、剥がれシール（Peel Seal）や破れシール（Tear Seal）⁴⁾の識別や不具合の発生原因の究明は困難であった。

資材メーカーの提示している“ヒートシール強さ”のデータは測定条件の温度と圧着圧が汎用化されていないので、ヒートシール装置が異なる現場でのシール条件の設定には適用しにくいものであった。

更に加熱ジョー（バー）の温度調節と加熱体と接触する被加熱面の温度は、調節用の温度センサの取り付け位置や周囲温度、気流等の運転環境で変動している。

実際には、溶着面温度で 5~10℃の範囲に調節することが要求されているが、高速系のヒートシールでは、数百℃/Sec. ~100℃/Sec. の割合で上昇する高速な温度傾斜の途中の約 20℃程度の温度幅の中で、繰り返しの圧着加熱制御が必要され、圧着時間は 0.01 秒程度の時間精度を要求されことになるが、従来の技術では正確に対応することが困難となっている。

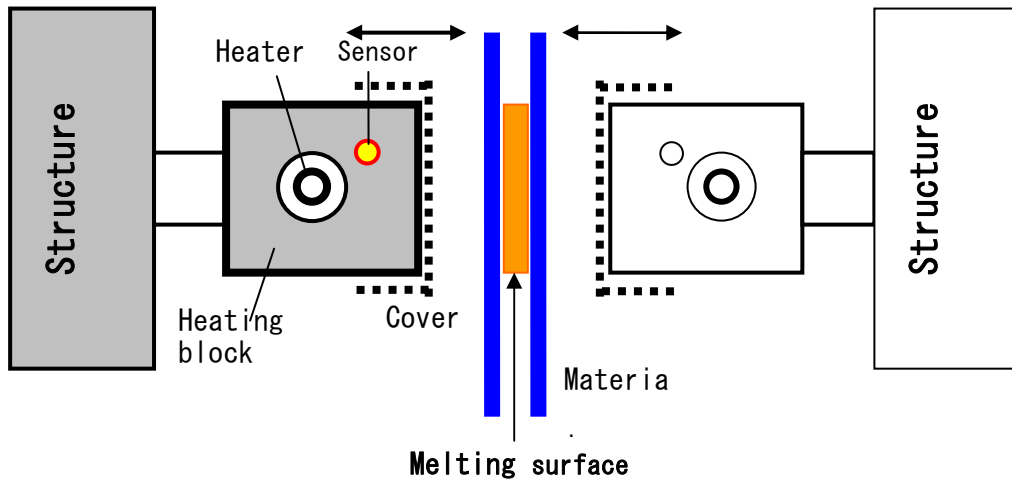
3. 2. 5 ヒートシールの加熱系のシミュレーション回路

加熱体や熱伝導系の解析に電気回路の過渡現象解析法⁵⁾が古くから使われている。ヒートジョー方式の加熱系と被加熱包装材料の熱伝導を含めた構成要素の等価回路で現した場合を Fig. 3-2 に示した。この等価回路からも理解できるようにヒートシールの熱伝導系は相互干渉系である。すなわち系の一部に変動（外乱）があると各部位の温度に波及変化が起こすことになっている。従来法はヒートバーの温度をヒーターの近くに設置したセンサで調節しているので、温度検出点から下流側の熱流点では従属的な温度分布となっている。ヒートシールの理論的な目標は包装材料の溶着面の温度を所定の温度範囲内に、設定した時間内に到達させることである。

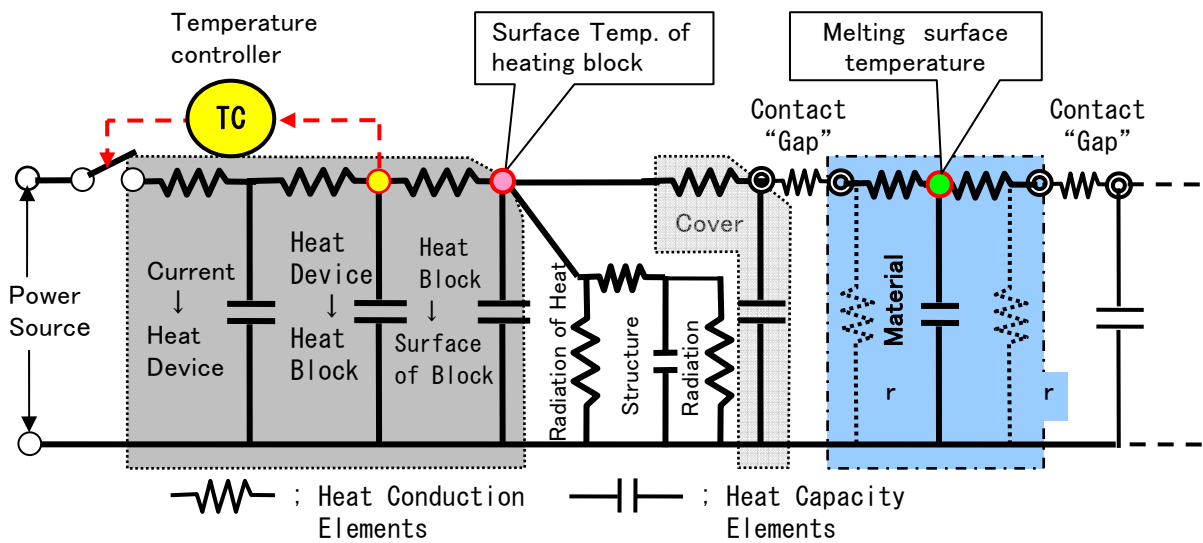
シミュレーション回路の要素を見ても分かるように溶着面温度は放熱や構造物への伝熱等の変動で加熱伝熱系に多くの外乱が存在していることが分かる。変動要素を除外した包装材料の固有の特性の熱伝導の計測法の開発の構築が要求されている。この論理を達成するには、加熱体の表面温度と溶着面温度の関係を把握すれば、放熱等の外乱の影響を消去した溶着面温度応答が把握でき、包装材料毎の伝熱特性測定の汎用化ができることになる。

3. 3 実験

ヒートシールの定量的な管理には実際の状態の溶着面温度の直接測定が不可欠であることが分かった。溶着面温度の直接測定法の検討方法を次に論ずる。



(a) Model of heat sealing [Jaw type]



(b) Analog indication of heat sealing for jaw type [Showed one side]

Figure 3-2 Simulation circuit for heat seal of heating jaw

3. 3. 1 溶着面温度の直接測定法の検討の課題

微細な溶着面の温度測定に要求される課題を列挙すると次のようになる。

- (1) 10~50 μm の微細部分の温度測定
- (2) センサの挿入による熱伝導系の熱伝導の遅延と攪乱の極小化
- (3) 高感度温度検出 ($\cong 0.1^\circ\text{C}$)
- (4) 高速測定 ($\cong 10\text{mSec.}$ 以下)

3. 3. 2 測定機材の検討

課題を具現化するために各要素の検討を次の方法で行った。

3. 3. 2. 1 センサ

微細部分の温度計測に適用できるセンサとしては、

- (1) 熱電対
- (2) サーミスタ

の採用が考えられる。

熱電対は温度／電圧変換素子で金属の固有特性で温度／出力電圧が決まるので素子間の互換性能が非常に高い。しかし変換感度は小さく ($\cong 0.04\text{mV}/1^\circ\text{C}$)、高感度の直流増幅が必要であり、出力の電圧信号の増幅処理が大変である。

他方サーミスタは温度／抵抗変換素子である温度／抵抗の変換は対数状に変化するので感度は高い。しかし初期抵抗値を同一に製作するのが困難で互換性に難がある。

本研究では、熱電対のクロメル／アルメル (CA = “K”) を採用して、市場から手に入る素線 (13, 25, 45 μm ϕ) を研究者の自作によってセンサを細工した。

3. 3. 2. 2 温度計 (増幅器) の選択

熱電対 (CA = “K”) の出力電圧は $\cong 0.04\text{mV} / 1^\circ\text{C}$ である。 0.1°C の分解能を得るためには、少なくとも 0.05°C の感度が必要である。これは電圧にすると $2\mu\text{V}$ ($2 \times 10^{-6}\text{V}$) になる。このためには安定した 120db 以上の高感度の直流増幅器が必要となる。ヒートシールの溶着面温度の変化速度は操作の速度によって決まる。

実際の運転速度や材料の厚さから推定すると数百 $^\circ\text{C}/\text{Sec.}$ ~ $100^\circ\text{C}/\text{Sec.}$ の高速な温

度傾斜になる。これは $0.01\sim 0.005\text{Sec./}^\circ\text{C}$ となる。

溶着面温度を直接測定するためには、高感度かつ高速の信号処理系が必要であることが分かった。更にデータをコンピュータの処理するためにアナログの温度信号をA/D変換する必要がある。取り扱う温度レンジを常温 $\sim 250^\circ\text{C}$ とすると、アナログレベルの分解能を保証するためには、少なくとも4桁のデジタル演算機能が要求される。このためにはBCD系のデータ処理では、16bitが要求されることが分かった。

3.3.2.3 データ蓄積と伝送

溶着面温度の直接測定方法によって、材料の熱応答特性、加熱体の表面の斑等の関連周辺情報を収集できると共に、微細部分の温度測定方法としても使える機能が期待される。採取データの時間軸の信頼性を保証するためには解析範囲のデータは少なくとも1測定に200ヶ（全データ量の0.5%）を通常的に要求される。測定データのコンピュータへの送信、格納機能を付加しデータ保存の自動化の必要があった。

3.3.2.4 処理ソフトの開発

1つの測定では少なくとも200ヶ以上のデータが収集される。

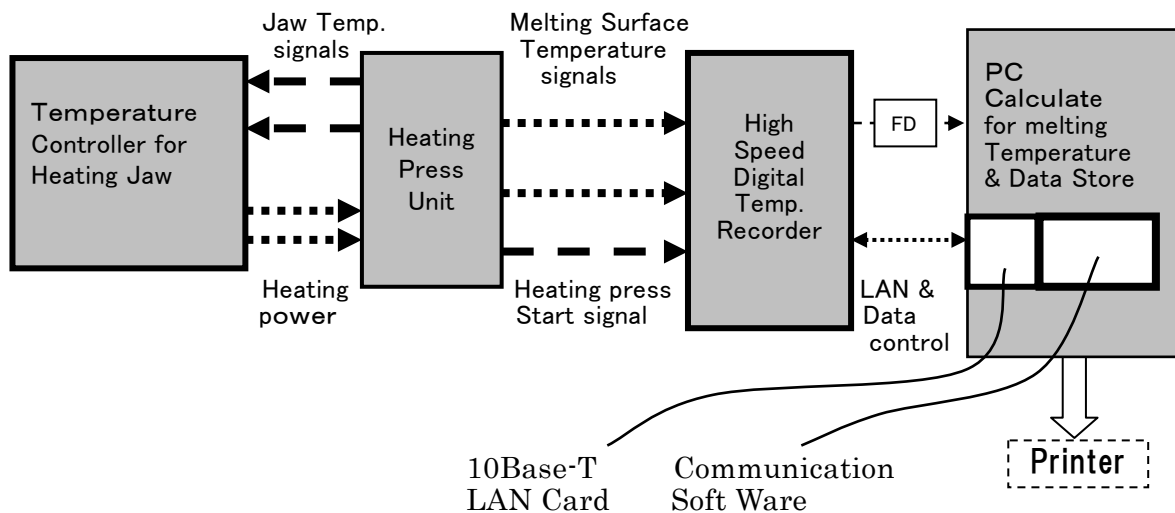
このデータを情報化するためには、加減乗除の演算やデータ移動、グラフ等の作図操作が必要である。本研究では、マイクロソフト社のEXCELベースでのデータ処理ができるように各種の処理ソフトを開発し、データ処理の迅速化を図るようにした。

本研究の随所に提示した測定データはこの方法によって処理している。

代表的な汎用アプリケーションは1本の標準データからパソコンによる任意温度の「溶着面温度応答のシミュレーション」⁶⁾（第11章）と、熱変性点の確定方法（第4章）がある。

3.3.3 【溶着面温度測定法】の構成（手動式）

以上に記述した溶着面温度測定法（MTMS）の実際の測定システムの構成例と各機材の仕様を Fig. 3-3 に示した。



Specification of every part:

- Temperature controller for heating jaw ; ON-OFF PID Control
Setting accuracy; 0.1 °C
- Heating press unit ; Manual pressing
Heat pipe setting
- Response ; 2/1000 Sec.
- High speed digital temperature recorder ; HIOKI E.E. CORPORATION
8855 with 8954
or 8835-1 with 8937
- Calculator; Personal computer with EXCEL

Figure 3-3 “MTMS” KIT Construction of handy type for testing of heat sealing

3. 4 結果

3. 4. 1 開発システムの性能

3. 4. 1. 1 センサの選択

溶着面温度の測定の最大の課題は溶着面にセンサを挿入することによって溶着面の温度変化に影響を及ぼすことである。この状態を検証するために太さの違う3種（13、25、45 $\mu\text{m}\phi$ ）素線を使いセンサを製作した。13 $\mu\text{m}\phi$ の素線の目視は困難で拡大鏡下の作業が必要であり、更に素線の電気抵抗が大きく、センサ毎の校正が必要であった。溶着面への装着も難しいことが分かった。25、45 $\mu\text{m}\phi$ のセンサは比較的扱いが容易で実用性は良かった。

3. 4. 1. 2 応答性能の測定

センサは応答速度の向上と太さを小さくするため被服を止めて“裸線”にしている。センサをそのまま圧着するとヒートバーの金属面との接触で「ショート」が起り計測が阻害される。本研究では市場に出回っている最も薄いPET 12 μm のシートに挟んで温度応答の比較測定をした。この測定結果をFig. 3-4に示した。同様に各種の包装材料の応答比較と包装材料、センサの応答相似回路をFig. 3-5に示した。包装材料とセンサの応答遅れは二つの抵抗（R）と電気容量（C）の直列回路になる。

Fig. 3-5の上段の表に示した数値は下段に示した応答式に相当する実際の測定結果になる。R、Cの決定を行わなくとも、測定した応答結果から各センサと材料の複合応答が推定できる。Fig. 3-5の応答式中 $\ll s \gg$ は微分方程式をラプラス変換した表示である。一次応答の特性の比較ができる95%の応答結果を使って、12 μm のPETの応答結果から13 $\mu\text{m}\phi$ センサの応答は11ms以下と言える。25 $\mu\text{m}\phi$ センサと13 $\mu\text{m}\phi$ センサの応答の相違は $\approx 1\text{ms}$ である。これらの結果から10ms程度の応答遅れは12 μm のPETの伝熱の遅れと見ることができる。25 $\mu\text{m}\phi$ センサのNylon材の応答は16msであり、この応答は14ms Nylonの応答遅れと見ることができる。同様にして45 $\mu\text{m}\phi$ センサの応答遅れは $\approx 20\text{ms}$ と定性できる。30 μm 以上の包装材料の場合は、45 $\mu\text{m}\phi$ のセンサでも実用的には十分使用できることが分かった。

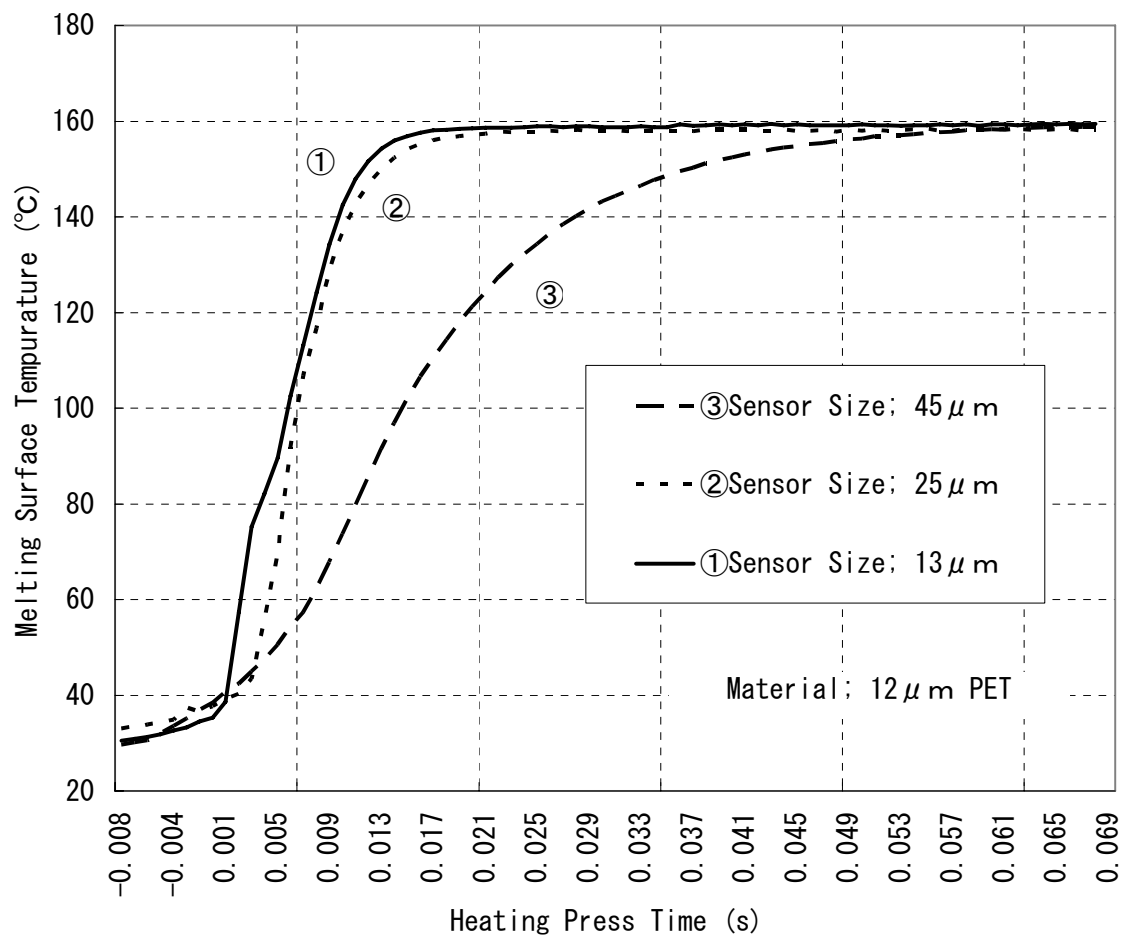


Figure 3-4 Temperature response of minute sensor

Kind of Sample	Size of Sensor	Response Of 63.2%	Response of 95%
Thickness/Material	(μ m)	(Sec)	(Sec)
12 μ m PET	13	0.006	0.011
	25	0.007	0.012
	45	0.016	0.036
25 μ m Nylon.	25	0.007	0.016
	45	0.017	0.037
30 μ m CPP	25	0.011	0.025
	45	0.035	0.060
75 μ m OPP/ Al metalize	25	0.045	0.160
	45	0.057	0.180
100 μ m Dried Paper	25	0.042	0.130
	45	0.056	0.150
75 μ m Teflon	25	0.035	0.110
	45	0.050	0.130

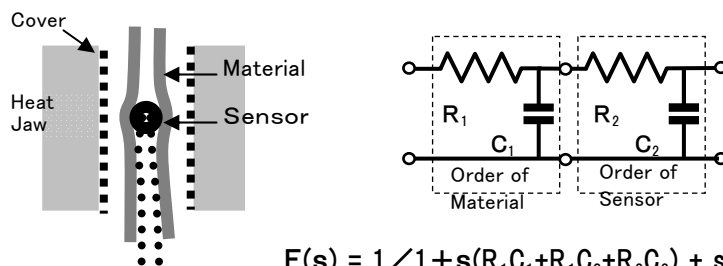


Figure 3-5 Heat conduction mechanisms of “MTMS”

3. 4. 1. 3 応答計測の再現性の維持

熔融温度を通過すると溶着層（ヒートシーラント）は液状化する。強い圧着力が加わるとヒートシーラントは圧着面から流出する。すなわちセンサは加熱体の表面に直接接触したり、圧着面のミクロの凹凸によって熱伝導が変化するので、正しい溶着面温度を計測したことになる。これを回避する方策として圧着ギャップを設定して測定するようにした。この方策を Fig. 3-6 に示した。Fig. 3-6 と同様な条件で、約 0.2MP での圧着結果を Fig. 3-7 に示した。

Fig. 3-7 (b) に示したように、加熱温度範囲で熱変性の小さい紙の場合は、押し付け応力を最後まで継続する全圧着と圧着代[(全厚さ) - (ピロー高さ)] \div 0.02mm と 0.07mm の応答に大差のない結果を得た。熱溶解性の PE の場合は全圧着と圧着代 \div 0mm、0.02mm(13%)、0.05mm(33%)、0.08mm(53%)の効果を測定した結果を Fig. 3-7(a) に示した。

ピローの効果は、初期の圧着圧は設定圧力が付加し、加熱による軟化/溶解が進行すると圧力は自動的に減少して、熔融移動が自己制御される。

Fig. 3-7 のデータを解析してみると、圧着代が 0.02mm と 0.05mm では、材料のミクロな歪みが残る接触が不十分で熱供給の不足が見られる。全圧着では、高圧着による表層部の熔融とズレによって、溶着面への加熱遅れが見られる。溶着面温度応答は圧着代 0.08~0.10mm (55~33%) 付近に安定した結果が得られた。この知見は、生産工程の圧着調整にも応用できると考えられる。

3. 4. 1. 4 測定速度と検出温度精度

測定速度、検出温度精度は熱電対の出力信号の処理装置（増幅器）の性能によって主に決定される。市場に出回っている種々の機器の適応性を検討した結果、日置電機（株）の「8855 メモリハイコーダ」と温度測定ユニット「8954」を採用した。⁷⁾

この器材の温度測定に関係する特性を示すと

- ・アナログ/デジタル変換 ; 16bit (デジタル分解能 ; 4桁)
- ・温度分解能 ; 0.1℃
- ・時間分解能 ; (サンプリング周期)

最小 4 k S/sec.

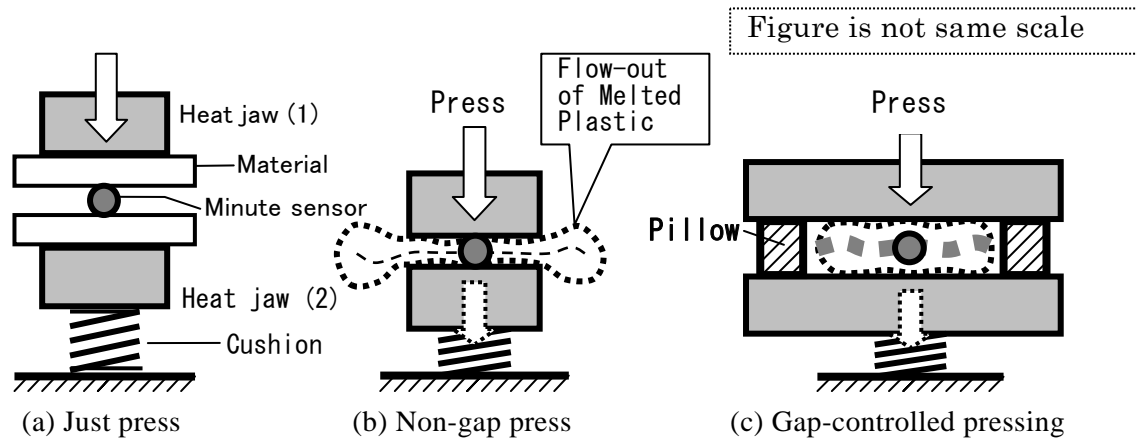


Figure 3-6 Gap-controlled press for “MTMS”

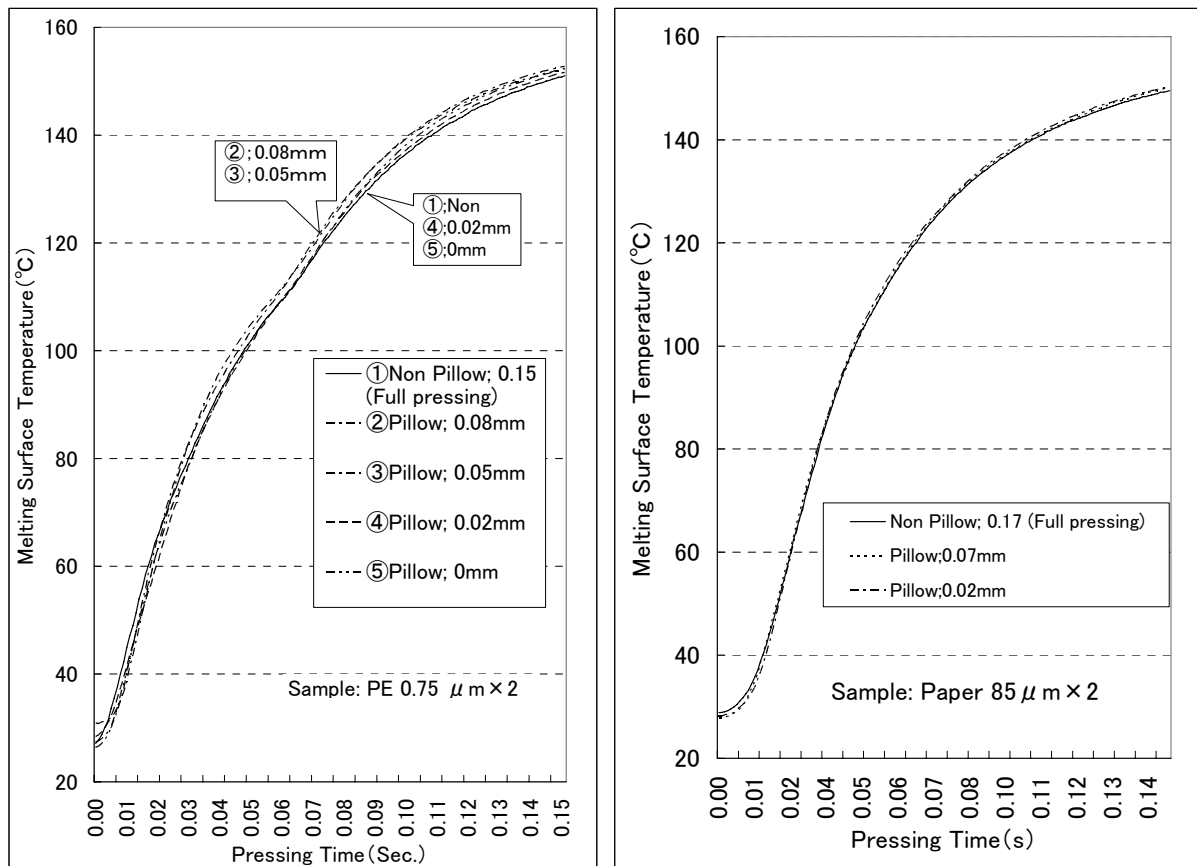


Figure 3-7 Setting effect of pillow for heat jaw

- ・増幅器の周波数特性 ; DC~1 k Hz

(+1~-3db)

- ・実効時間分解能 ; 1 m s

この速度性能は市場に出回っている包装材料の最小の厚さのもの (PET;12 μ m) にも対応できる。

3. 4. 1. 5 “MTMS”キットの開発

ヒートシールの溶着面温度の測定条件を満足し、容易に実施できる測定キットを開発した。 Fig. 3-3 の構成をベースに組み上げた全体を Photo3-1 (a)、圧着ユニット部を (b)、測定後のサンプルを (c) に示した。

3. 5 考察

- (1) 溶着面という微細部位の温度測定は測定素子の熱容量による加熱系の熱流攪乱が懸念されるが、微細センサを適用することで実用的には問題のないシステムを構築できた。
- (2) センサの出力は微小であるので高感度の増幅器が必要であった。
又、信号の変化速度は数 m s の時間分解能を必要することが分かった。
- (3) 大量のデータを処理するのでコンピュータとの通信機能が要求された。
- (4) 汎用化した溶着面温度測定システムの構築には廉価な高速、高感度な電気信号処理システムが不可欠である。

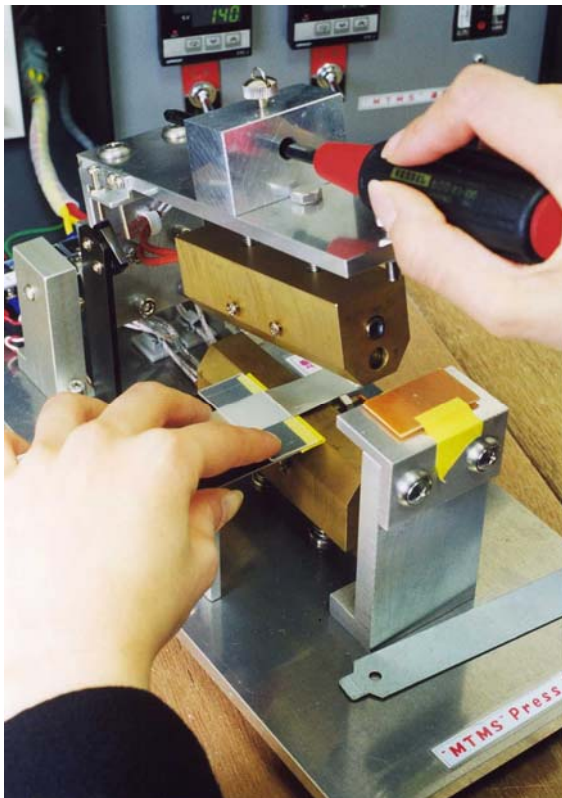
以上のような仕様を満足した溶着面温度測定法 (MTMS) の構築ができた。

3. 6 結論

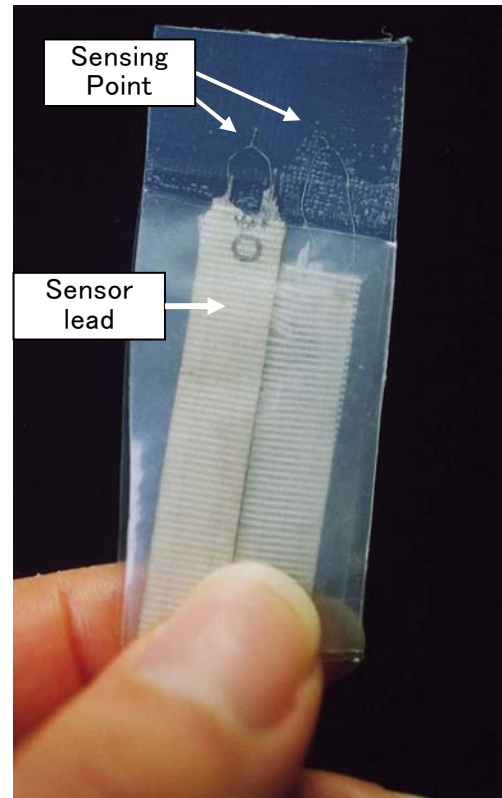
経験的な知見や間接的方法に頼っていたプラスチックの熱溶着 (ヒートシール) の解析と評価に必要な溶着面温度の直接測定方法を確立することができたので、プラスチックの包装材料の熱溶着 (ヒートシール) の周辺の諸課題の定量的な解析が格段と進展することが期待できる。



(a) Overall view of “**MTMS**” Kit



(b) Heating press by hand



(c) Little material for testing

Photo 3-1 “**MTMS**”Kit manual type

3. 7 参考文献

- 1) Geroge L.Hoh;(Donald A. Vassallo, E. I.) Du Pont de Nemours and Company, US
Patent NO. 4,346,196, p. 6, Aug.24, 1982
- 2) JIS : Z 0238 (1998)
- 3) ASTM Designation : F88-00 (2000)
- 4) 菱沼 一夫、第8回日本包装学会年次大会要旨集、p.16~、(1999)
- 5) 高橋 安人、自動制御理論、岩波書店、p.15、(1954)
- 6) 菱沼 一夫、第12回日本包装学会年次大会要旨集、p.82~、(2003)
- 7) 日置電機 (株) カタログ、NO.8855J7-25M-05K

第4章 プラスチック包装材料の熱特性の 簡易解析と評価法の検討

4. 1 緒言

4. 1. 1 本研究の概要

プラスチックの包装資材のほとんどの封緘には熱溶着（ヒートシール）が使われる。

ヒートシールには次の4要素の計測によって

- (1) 包装材料の溶着層の溶融温度を知る
- (2) 溶着層を溶融温度以上に加熱する
- (3) 適正加熱温度に到達する時間の制御
- (4) (ヒートシーラント、表層材料の) 過加熱温度範囲を掌握する

を達成又は把握することによって完成する。

従来は、溶着の完成を加熱後のサンプルの溶着面の引き裂きテスト^{1),2)}や観察によっている。従来法では、溶着条件以上の加熱が行われていることの定性的な確認に頼っている。しかし、従来法では適正加熱か過加熱かの識別は困難であり、適正加熱を直接的に調節することができなかった。このために、過加熱による材料の熱変性を起こし、ピンホールやエッジ切れ等により、包装の基本機能を失う不具合の発生源になっている。

適正加熱には、基本となる溶着層（ヒートシーラント）の溶融温度を正確に把握する必要があった。材料の溶融等の熱特性を知る方法として、示差走査熱量計（DSC）が知られているが、この方法は高度な試験操作の技能が要求されるので膨大な回数のヒートシールの管理の現場には適さない。更にこの試験結果で得られた結果と実際のヒートシール強さとの関連を定量的に比較評価する方法が未だ確立されていない。

本章では少量の包装材料を用いて、実際のヒートシール条件に準じた条件で溶着面温度の測定データを取得して、これを元にヒートシーラントの軟化、溶融、液化化、含有物の気化の発生温度を測定し、ヒートシール強さの発現との関係を明らかにした。

この検討を利用して、ヒートシールの適正な溶着温度の取得と加熱時間を選択する方法を提案する³⁾

本章で用いる溶着面温度の測定は、本研究の[第3章]の溶着面温度測定法を用いた。

4. 2 理論

4. 2. 1 物質の熱変性特性の測定方法

物質は加熱によって固体、液体、気体に変態することが知られている。

固体、液体、気体の各状態では、熱挙動に相違があるので、物質に時間と共に上昇／下降の加熱／冷却を行うことによって、この変曲点の検知を行えば、固化、液化、ガス化点の温度の計測が可能となるとされている。 筆者は、物質の表面からの加熱による内面に到達する熱流を温度変化として捉える変態現象の検知法の検討を行った。

4. 2. 2 溶着面温度測定法（“MTMS”）を用いた熱変性の検知方法

4. 2. 2. 1 溶着面温度の採取方法の検討

熱溶着（ヒートシール）包装材料用のプラスチックサンプルの溶着層を内側にして、向かい合わせ面に微細センサを挿入設置する。

通常のプラスチックフィルムのロット内の熱特性はほとんど同様なので、同一温度に調節した加熱体を数枚のテフロンシート等の熱流調節材を介して圧着加熱を行い、微細センサによって加熱面の1点を代表点としての温度応答を測定した。 溶着面に対する加熱は「ステップ応答」になるので溶着面温度は「1次遅れ」の応答になる。 この説明の図解を Fig. 4-1 に示した。 検出温度情報は透過熱量の測定であるので、サンプルが複合フィルムの場合には複合の熱伝導を測定することになる。(Fig. 11-2(a)の図解参照) 従って各層の温度特性の個別識別は困難である。 そして加熱源に近い表層側の熱応答の検出が早期に現れることになる。

4. 2. 2. 2 溶着面温度の情報の演算処理法

物体を加熱体に接触させた時の物体の温度上昇は Fig. 4-2 に示した(片側のみを示した)電気の回路の線形1次回路(本研究の場合は加熱によって熱特性が変化しない系)によって表すことができる。この系のステップ応答は次式で表すことができる。

(この演算式の導入手順は1 1. 2. 3に示した。)

$$Vc = E(1 - e^{-t/CR+D}) \quad (1)$$

$$\frac{dVc}{dt} = K_1 - E(1 - e^{-t/CR}) \quad (2)$$

$$\frac{d^2Vc}{dt^2} = -K_2 + E(1 - e^{-t/CR}) \quad (3)$$

ここで加熱源の [E] は十分な熱容量を持たせるようにすれば材料に接触してもほぼ一定として扱うことができる。(実測例は Fig. 5-3 に示してある。)

この3式を図示すると Fig. 4-3 のようになり、ステップ応答の1次、2次微分値は連続で[0]に収斂する。 Fig. 4-4(a)に示すように不連続点があると1次微分値は Fig. 4-4(b)のように変化の傾斜値を示す。2次微分値は Fig. 4-4(c)に示すように変曲点の方向によって (+), (-) に符号化された結果を示す。

この演算方法を実際の溶着面温度の解析に適用すると加熱温度に関係なく変曲点を容易に検出できる。^{4), 5)}

4. 2. 2. 3 溶着面温度の情報の演算処理結果とヒートシールの

溶着仕上がりの対比方法

溶着面温度データを演算して得られた変曲点情報は材料の熱変性特性であるが、ヒートシールの解析に必要とされる溶着状態を直接的に示すものではないので、この情報をヒートシールの検討に適用する場合には、溶着面温度をパラメータにして作成したサンプルの引張試験を行い得られたヒートシール強さとの関係を相関を確認する必要がある。

4. 2. 3 溶着面温度測定法 ; “MTMS” と DSC との比較

プラスチック材料の熱特性の測定には示差走査熱量計 (DSC) がよく使われている。

DSCは被加熱物の温度応答速度より遅い加熱/冷却を行う。各温度帯のサンプルの熱反応による発熱/吸熱によって起こる周囲温度との差を同一になるように補完加熱調節を行い補完エネルギー (加熱電流) を演算して熱変性を測定している“積分型”計測法である。

これに対して、“MTMS”は透過熱流 (量) の変化を直接測定する“微分型”計測法と言える。微分型なので変化点温度の計測感度は高いが熱反応の定量化測定は難しい。

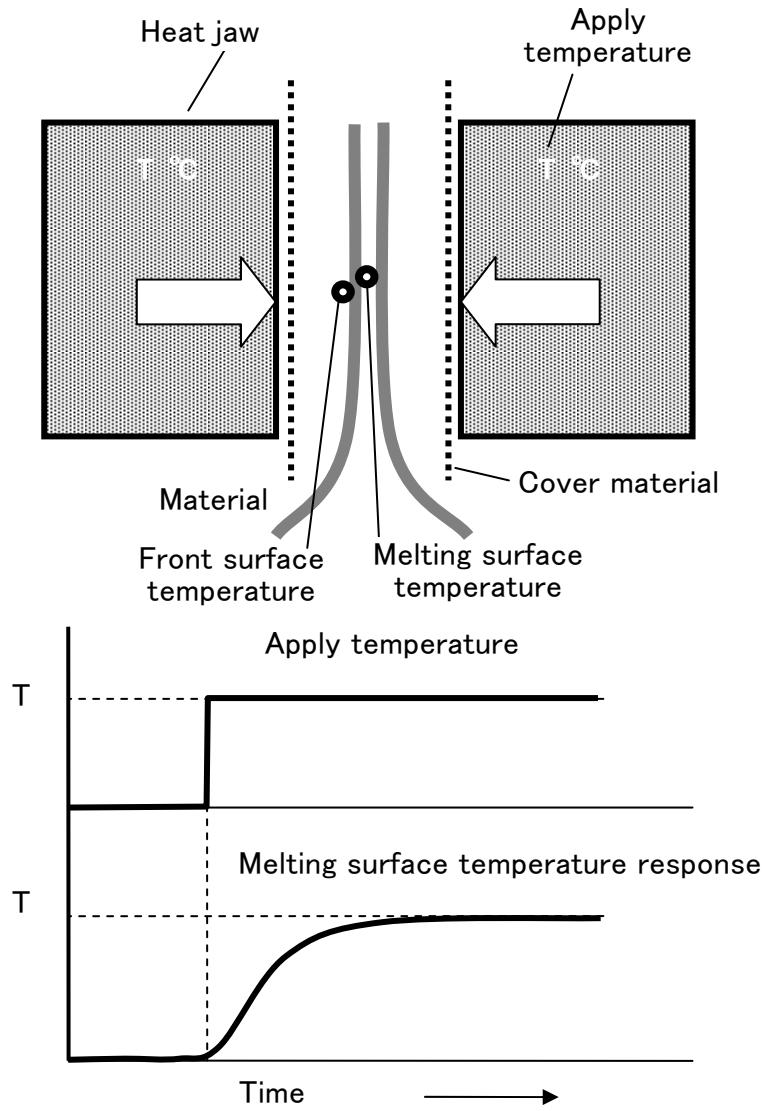


Fig.4-1 Step response of melting surface temperature

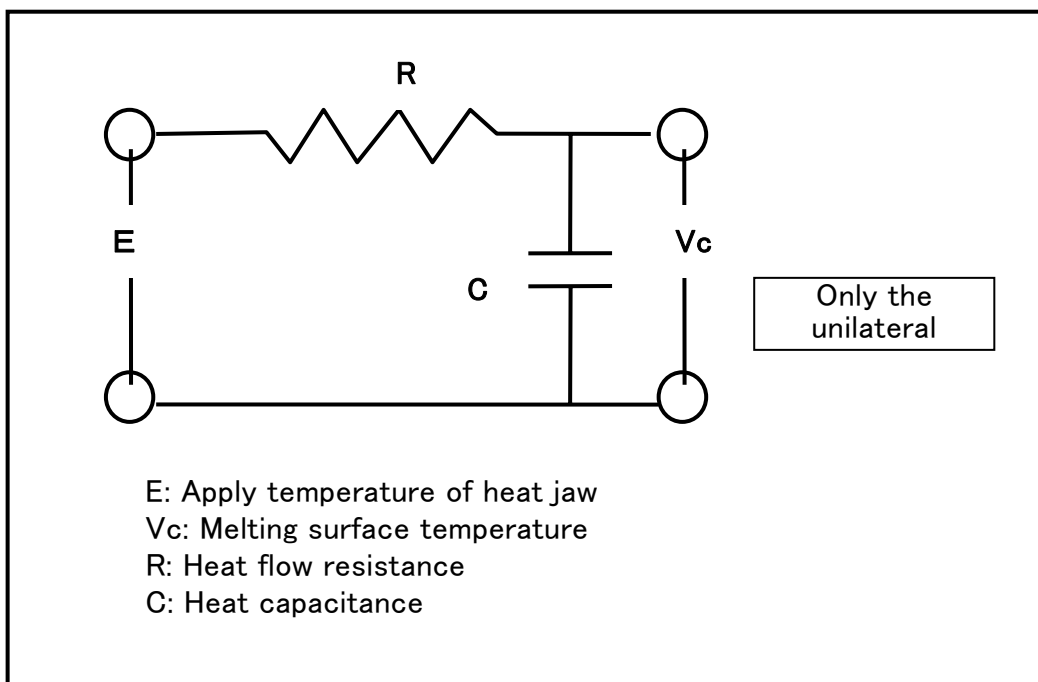


Fig.4-2 Simulation circuit of heating

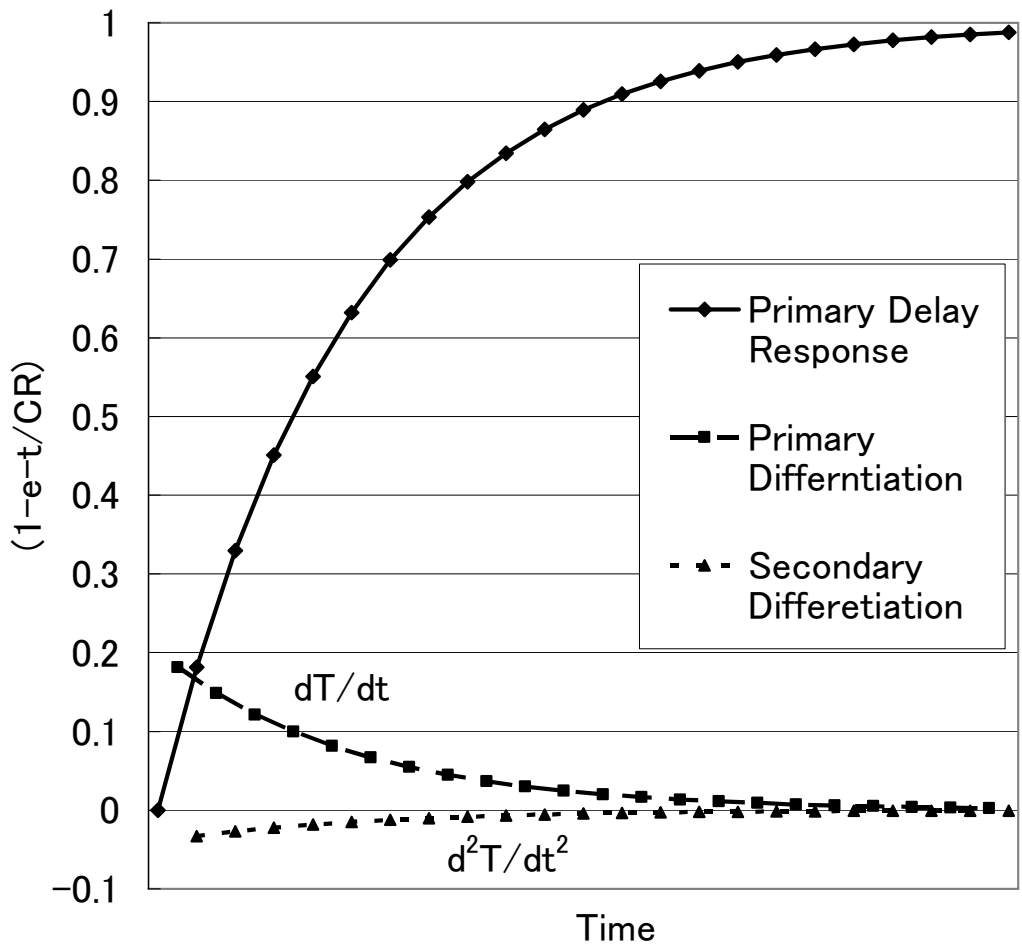


Fig.4-3 Differentiation result of primary delay response

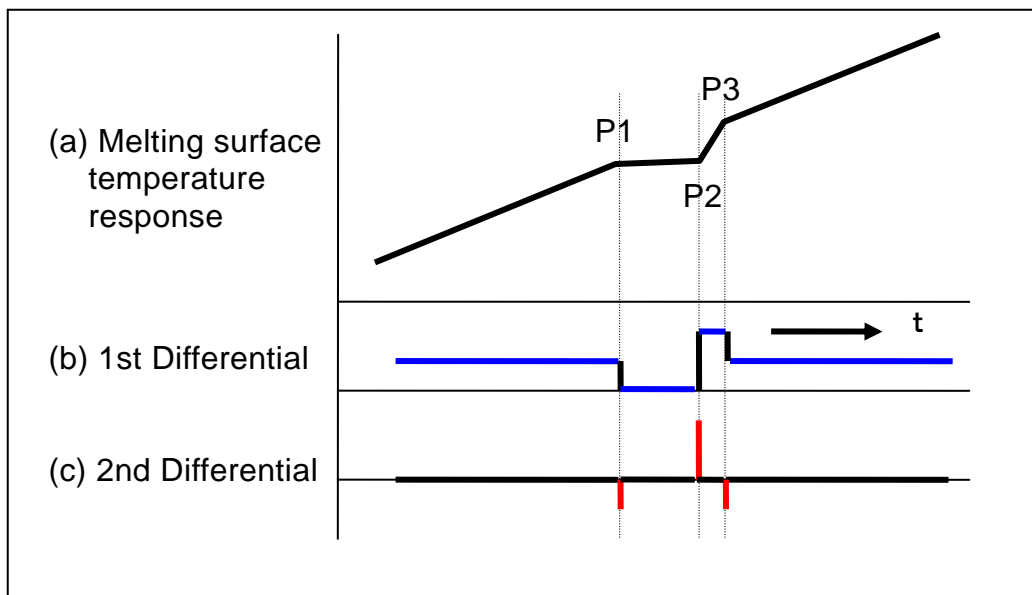


Fig.4-4 Differentiation processing result in case there is a discontinuous point

4. 2. 4 従来の熱溶着（ヒートシール）情報の汎用化の難点

包装材料メーカーから溶融温度（ T_m ）やラボのヒートシール特性データは信頼性が低く生産現場への利用には難点が多かった。

その理由は

- (1) 溶融温度（ T_m ）とヒートシール強さとの発現関係が提示されていない。
- (2) 提示されている加熱温度の定義が曖昧で現場への移転ができない。
- (3) ヒートシール強さの測定条件に時間と圧着圧がパラメータになっている。
- (4) 材料の最適な加熱温度の提示がない。

このため剥がれシールの Peel seal ゾーンの情報のが的確に得られていない。

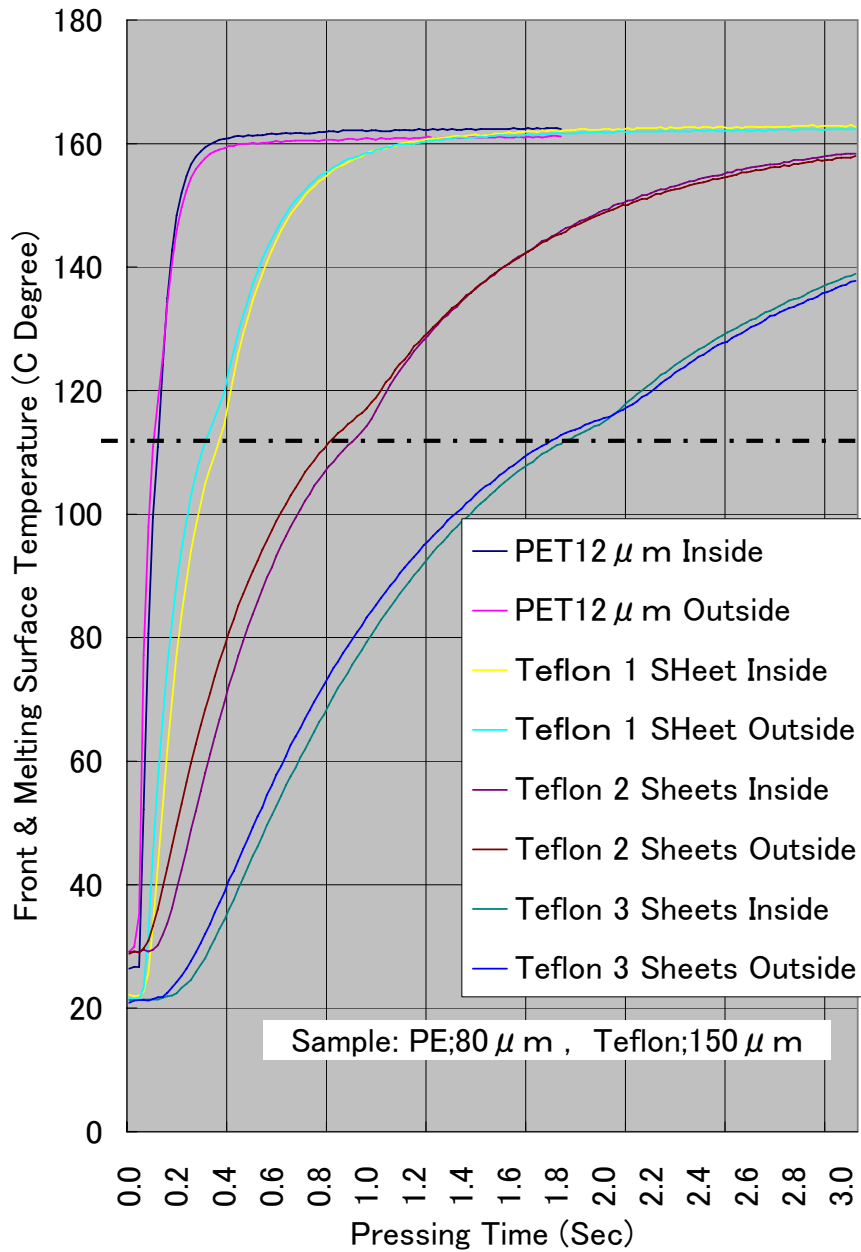
4. 3 実験と結果の考察

ヒートシールの定量的の管理の与件である包装材料毎の溶着温度の確定方法を次に論ずる。

4. 3. 1 加熱昇温速度の抑制の必要性

溶着面温度測定はサンプルを通過する熱流を測定している。サンプルは加熱によって表面と溶着面の厚み方向に熱傾斜が発生する。この熱傾斜は加熱体とサンプルの接触面の熱抵抗によって支配され、金属との直接接触が最も早い。熱変性を起こす材料が厚い場合、熱容量に見合った伝達遅れが更に発生する。表層が熱変性を起こし始めると、加熱エネルギーは表層部で吸収されるので、溶着面への熱流は更に抑制される。このために測定される熱変曲点温度は表面温度と溶着面温度の熱流遅れの温度傾斜分だけ低めに出てしまうことが分かった。この遅れはセンサの応答遅れより大きいので、センサの応答遅れ以外の原因である。温度傾斜を極小化するために熱流を制御（抑制）する必要がある。

加熱体と被加熱サンプルの間に熱抵抗体としてテフロンシートを挿入して、熱流の制御の効果を測定した。テフロンシートを複数枚挿入しサンプルの表面温度と溶着面温度を同時測定して熱流制御の適正化を測定した。熱流制御の測定結果事例を Fig. 4-5 に示した。図中には、材料の表面温度を《Outside》、溶着面温度を《Inside》と表示した。



(a) Temperature response data of a front surface (Outside) and melting surface (Inside)

Cover Number	In Side (°C)	Out Side (°C)	ΔT (°C)	Attainment time(Sec)
Non	99.5	110.8	11.3	0.08
1	105.0	111.8	6.8	0.30
2	108.5	112.3	3.8	0.84
3	110.6	112.0	1.4	1.70

(b) Difference of temperature (ΔT) near 112 ° C is actual.

Fig.4-5 Example of heat flow control of heating

Fig. 4-5 から加熱源の熱供給能力によって、溶着面温度の応答が変わることを示していることが分かった。

4. 3. 2 変曲点検知の近似微分演算の巾選択

近似微分解析は **Fig. 4-6** に示した差分方法を使った。

変曲点付近の表層と溶着面の温度差が 2°C 以下になる熱流制御して得られた溶着面温度データをデジタル変換してパソコンに取り込む。本研究に使用している温度測定装置の温度分解能は 0.1°C で、デジタル変換するサンプリング間隔は溶着面温度付近の採取データが $0.2\sim 0.5^{\circ}\text{C}$ の変化になるように選択した。1次微分処理は各データの1～3間隔の差分の近似微分演算で行った。差分間隔の選択は熱変性の大きさによって選択した。具体的な展開は次項に論ずるノイズ対策と併せて行った。

4. 3. 3 測定ノイズの排除

溶着面温度の測定は高感度／高速測定が要求される。そのために測定系に入り込むノイズがデータ処理の精度に影響をする。

厚手のPEやPPの結晶系のプラスチック材料では変曲点の測定は容易であるが、複合化フィルム、ヒートシーラントをディスパージョンしたり、フィルム全体の厚さに対してヒートシーラントの厚さの割合が小さい場合は、測定データのS/N (Signal/Noise) 比は 0.5°C 以下に抑える必要があった。

本実験で使用した温度測定装置のデジタル識別能力 (スレッショルドレベル) は 0.1°C であるので期待する識別温度は 0.3°C 位になる。

熱電対の出力のアナログ測定系にノイズフィルターを設置したり、デジタル回路にデジタルフィルター挿入して、高速領域の変動 (ノイズ) を除去した。更に近似微分をする前に **Fig. 4-7** に示す方法でデジタル変換した信号の平均値化補正をした。この方法によってA/D変換ノイズの影響も縮小化ができた。

4. 3. 4 溶着面温度データから熱特性の算出方法

PEの単一フィルムを用いて、表層と溶着面温度の温度差が 1°C 程度になるようにテフ

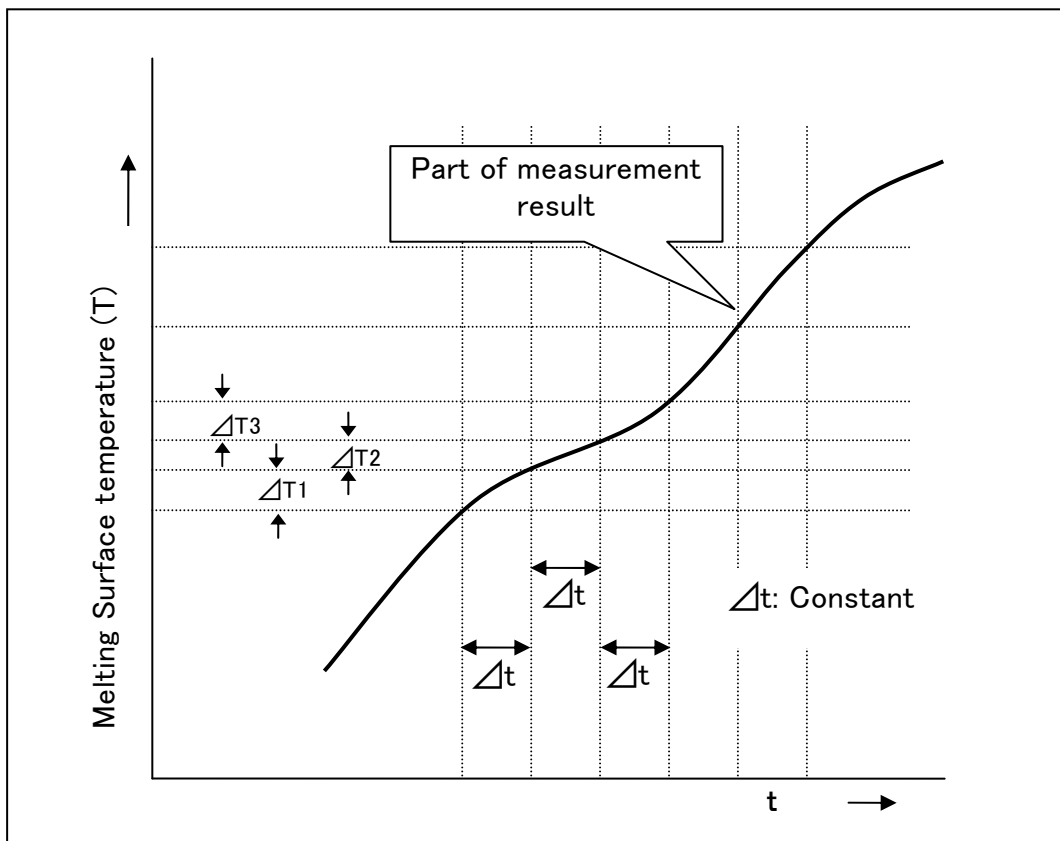
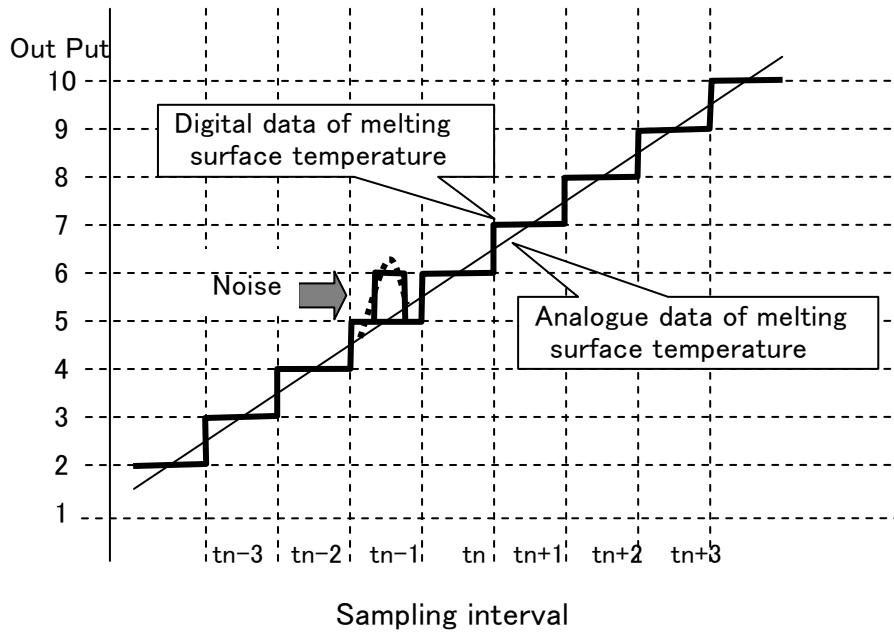


Fig.4-6 Approximate differential method of the heat characteristic analysis



Compensation method:

In the case of average operation compensation of **five data**

$$(t_n) = [(t_{n-2})+(t_{n-1})+(t_n)+(t_{n+1})+(t_{n+2})]/5$$

$$(t_{n+1}) = [(t_{n-1})+(t_n)+(t_{n+1})+(t_{n+2})+(t_{n+3})]/5$$

$$(t_{n+2}) = [(t_n)+(t_{n+1})+(t_{n+2})+(t_{n+3})+(t_{n+4})]/5$$

$$(t_{nn}) = [t_{nn-2}+(t_{nn-1})+(t_{nn})+(t_{nn+1})+(t_{nn+2})]/5$$

(tn) has shown the measured value in each interval.

Example:

	t_{n-3}	t_{n-2}	t_{n-1}	t_n	t_{n+1}	t_{n+2}	T_{n+3}
Non-Noise	3	4	5	6	7	8	9
Differential	1	1	1	1	1	1	1
Noise	3	4	6	6	7	8	9
Differential	1	1	2	0	1	1	1
Noise Compensated	3	4.2	5.2	6.2	7.2	8	9
Differential	1	1.2	1	1	1	0.8	1

Fig.4-7 Noise compensation method of melting surface temperature data

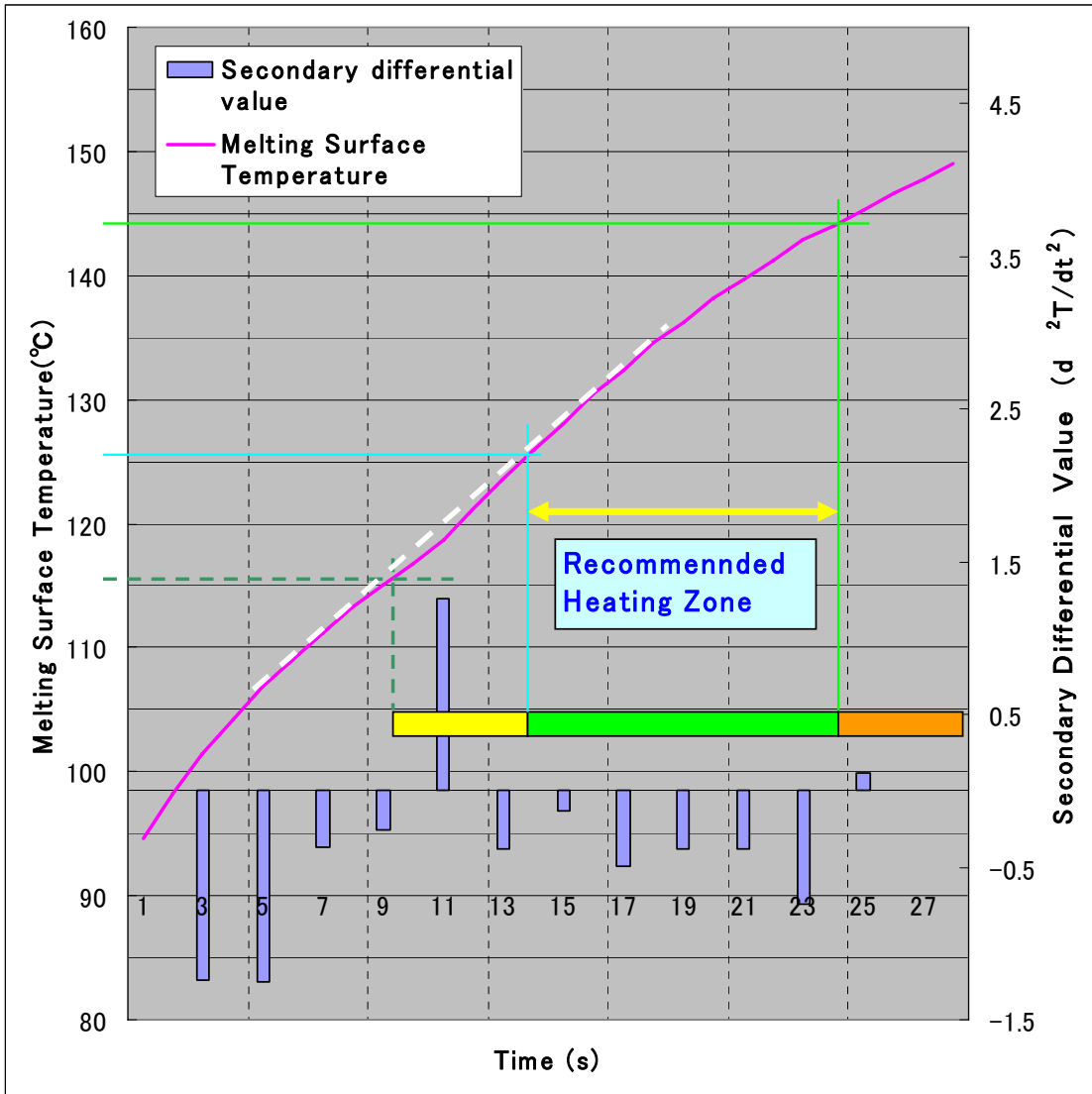


Fig.4-8 Calculation method of the heat characteristic from melting surface temperature data

ロンシート 3 枚で挟んで熱流制御をした溶着面温度の応答データを測定し、近似微分法で演算処理して熱変性を解析した結果を Fig. 4-8 に示した。この方法から変曲点が溶着面温度に変換できる。 Fig. 4-8 の図中の《23-25》付近にもう一つの変曲点が認められる。この温度傾斜領域での加熱を受けたヒートシールのサンプルを引張試験観察すると Fig. 1-3(b) のようなエッジ切れが起こっており、この情報からヒートシールの最適温度の上限が推定される。この結果は未だ時間軸を溶着面温度に変換していない。

4. 3. 5 溶着面温度をパラメータにした熱変性表示への変換

溶着面温度の基礎データの X 軸は時間になっている。熱特性の解析演算処理も時間を基準に行っているため、得られた時間軸をパラメータにした熱変性データを溶着面温度をパラメータにした表示に変換する。基本データは時間と溶着面温度の関係になっているから、各時間に相当する溶着面温度を単純に置き換え、Y 軸を微分値にして表現すればよいことになる。溶着面温度の変化はステップ状の加熱に対する応答なので、既に述べた通り 1 次遅れ応答になっている。時間軸は直線的であるが温度の高温域の温度目盛のピッチは順次小さくなるので溶着面温度は直線にならない。

4. 3. 6 測定事例の考察

Fig. 4-9 に市販のレトルトパウチ (PET12 μ m/AL7 μ m/ CPP70 μ m) の測定事例を示した。

この材料構成の PET は耐熱基材、AL (アルミニウム) はガスと光のバリア材、CPP は熱溶着材 (ヒートシラント) と材料の固さを利用した整形機能である。

近似 1 次微分値、2 次微分値を「熱特性」として、棒グラフで示した。熱特性から顕著な変曲点は 140, 146, 150, 152 $^{\circ}$ C に見られる。

4. 3. 6. 1 演算処理結果とヒートシール強さとの比較

熱特性の変曲点付近を溶着面温度をパラメータにして、2 $^{\circ}$ C 刻みの加熱サンプルを作製して J I S 法の引張試験¹⁾を行った結果を付記して、熱特性とヒートシール強さの発現の関係の事例を Fig. 4-9 中に示した。(他の付記データの説明は次の項で行う)

熱特性の測定結果と比較してみると熱特性とヒートシール強さの関係が鮮明になってい

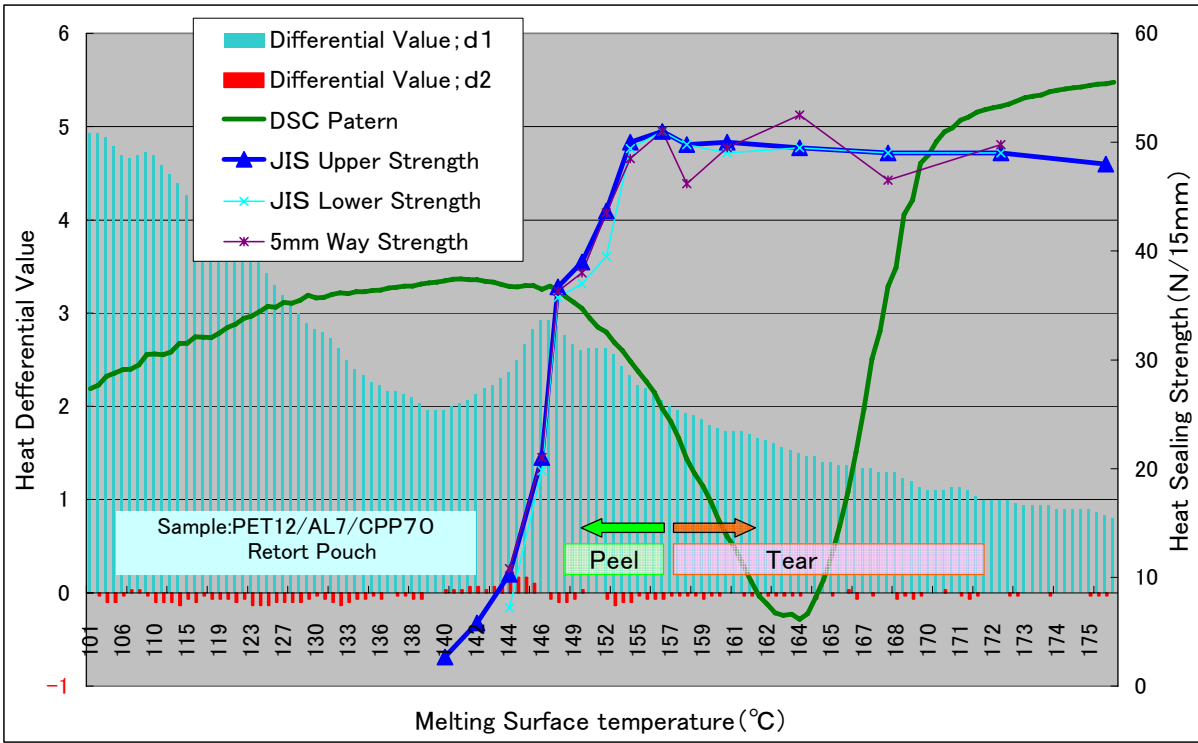


Fig.4-9 Integrated version of the analysis result of a heat characteristic

る。このサンプルの場合には、ヒートシールの立ち上がり（Peel Seal ゾーン）が2段になっている。ピールシールゾーンのヒートシール強さの大きな振れの測定結果らと併せて、Peel Seal ゾーンを広くするために溶融特性が異なる2種のヒートシーラントが混合されていることが推定される。（ピールシールゾーンの引張試験の引張強さの変動に関する考察は、第9章で詳細に行う。）溶融状態のヒートシール強さが平坦な特性を示しているが、この値は各加熱の引張試験のピーク値の列挙であって、ピンホール、エッジ切れの発生の有無を保証するものではない。（第6章の Peel seal と Tear seal の識別法を参照）

4. 3. 6. 2 DSCとの比較検討

同一サンプルのDSC測定結果を Fig. 4-9 に付記した。Fig. 4-9 に示した各データの測定単位はDSCが [μ cal/mg/s]、熱変性度は [dT/dt , d^2T/dt^2]、ヒートシール強さは [$N/15mm$] である。単位が異なるので直接的な比較はできないが、溶着面温度をパラメータにして各々の現象感度を論じることができる。“MTMS”で得た熱特性やヒートシール強さは1℃位の温度変化に対して敏感な反応を示している。このことから“MTMS”でのヒートシールの挙動解析の優位性を見出すことができた。又、ヒートシールの挙動解析には1℃程度の小刻みな加熱条件での解析の必要性を示唆している。

4. 3. 6. 3 変曲点が現れないケース

以上の考察は、ヒートシーラントが10 μ m以上でPEやCPPのように高分子の結晶性が高い場合での実験結果を示した。結晶性の低い高分子や基材フィルムの厚さに対してヒートシーラントが非常に薄い場合、Co-polymer、生分解性プラスチックのように他の物質の混合量が多い場合には顕著な熱変性が検出されなかったり、熱溶着（ヒートシール）の発現と一致しないことも見出された。この測定事例は Fig. 13-1 (a)、Fig. 13-7 に示した。

4. 3. 6. 4 取得データの生産活動への展開の考察

ヒートシール強さは通常15mm幅の平均値を測定するが、測定幅を5mmと狭くしても、

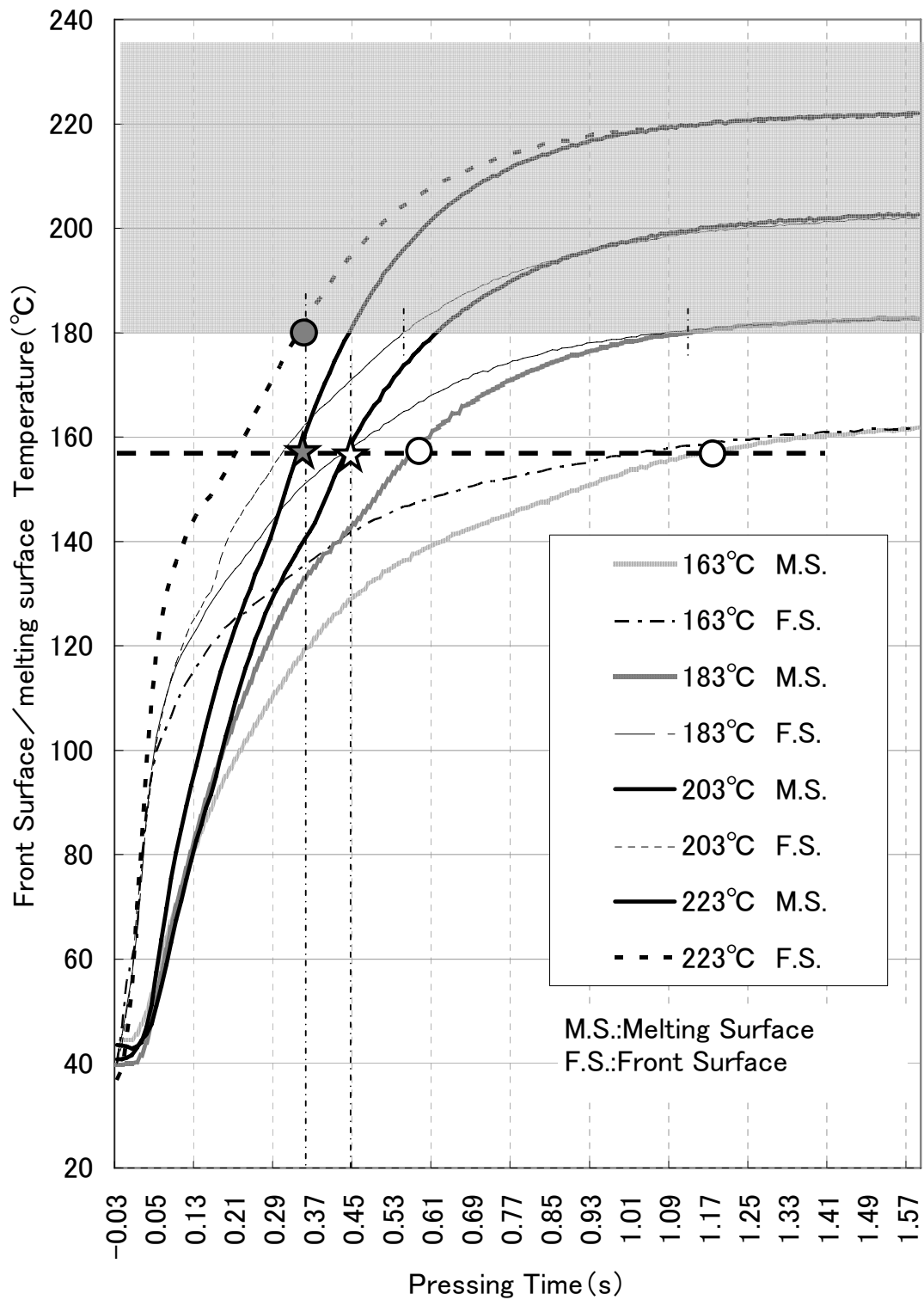


Fig.4-10 Simulation method to the manufacture spot of the optimal heating temperature

15 mm と同等のヒートシール強さが発現していることを確認するために行った。

[5 mm Way] のグラフ上のデータは測定値を3倍してある。

ピールシールゾーンでは引張強さが大きく変動する特徴があるので、その変動を [Upper] と [Lower] で表示した。

実際の現場で起こる破袋、ピンホールの発生はこれより更に小さい部位に応力の集中が起こっていることを示唆している。この実験結果を Fig. 4-9 に併記して示した。

この結果からヒートシール条件の適用温度を溶着面温度をパラメータにして選択でき、選択された温度（温度レンジ）はヒートシールの装置の種類に関係しない普遍化されたものであり汎用性が高いことが分かった。この知見を現場に反映させるためには、適用する加熱方法（両面、又は片面、テフロンシート有無等）を“MTMS”キットを用いて、データの採取を行い、熔融温度と到達時間を把握して、「適正加熱範囲」に反映することができる。

Fig. 4-10 に Fig. 4-9 の解析に使用したものと同一のサンプルの溶着面温度の応答データの事例を示した。加熱条件は両面同一温度加熱である。この事例では包装材料の溶着面温度と加熱体に接触する表面温度を同時測定したものを併記してある。表層材の高温側劣化温度は本研究を展開した「角度法」⁶⁾（第6章）にて別に計測して決定してある。

溶着面温度を157℃とし、表層材の加熱上限温度を考慮して、適正加熱条件を評価すると最高加熱温度（最速加熱時間）は223℃の加熱で加熱時間は0.34Sec.となるが、表層材がオーバーヒートの領域に入るので使用は不適當。203℃では0.43Sec, 183℃では0.57Sec, 163℃では1.16Sec以上の加熱時間を確保すればよいことになる。

4. 4 結論

- (1) 溶着面温度応答データの微分演算処理で得られたデータから熔融開始と完了温度を溶着面温度をパラメータにして知ることができるようになり、Peel seal ゾーンのヒートシールの発現の状況を精密に把握できるようになった。
- (2) ヒートシーラントが薄い場合や非結晶性のプラスチックでは顕著な変曲点検出は得られなかった。このような場合でも溶着面温度をパラメータにしたヒートシールサン

プルの引張試験との併用でヒートシール条件解析への適用が可能である。

4. 5 参考文献

- 1) JIS : Z 0238 (1998)
- 2) ASTM Designation : F88-00 (2000)
- 3) 菱沼 一夫、第 8 回日本包装学会年次大会要旨集、p.16~、(1999)
- 4) 菱沼 一夫、日本特許 : 3318866 June, 2002
- 5) KAZUO HISHINUMA, US PATENT 6,197,136 B1 June, 2001
- 6) 菱沼 一夫、第 12 回日本包装学会年次大会要旨集、p.84~、(2003)

第5章 溶着面温度測定法による 従来の加熱法の検討と評価

5. 1 緒言

5. 1. 1 本章の概要

プラスチックの包装資材のほとんどの封緘には熱溶着（ヒートシール）（以下の記述はヒートシールと称す）が使われる。従来のヒートシール管理は「温度」、「時間」、「圧力」が指標として取上げられている。しかしこの3要素の定義は曖昧であるので、制御要素としての信頼性は保証しにくいものであった。

本章では、第3章[付録(1)]で提示した溶着面温度測定法（以下の記述は“MTMS”と称す）を用いて従来から行われているヒートシールの管理項目の温度要素を溶着面等の温度応答を直接測定して、従来の管理法の不具合点を解明する。

本章では次の事項の検証の報告を行う。

- (1) 4重のヒートシールの各部位の温度応答
- (2) ヒートシールの圧着圧と溶着面温度の関係
- (3) 揮発成分を含んだヒートシールの溶着面温度の挙動
- (4) 発熱体にテフロンシートを装着した場合の被加熱体との接触面の温度挙動
- (5) 発熱体の表面の温度分布の計測
- (6) インパルスシールの溶着面温度挙動
- (7) インダクションシールの溶着面温度挙動
- (8) 片面加熱の加熱面温度の挙動

5. 2 従来法の溶着面温度をパラメータにした性能試験の方法、結果と考察

ヒートシールは加熱プロセスである。従来は制御の3要素として「温度」、「時間」、「圧力」が提起されているが、主制御要素は「温度」であり「時間」により加熱エネルギー量が調整できる。「圧力」は溶着面に揮発成分のような感圧反応系が存在する場合を除き、系の熱伝導と接着面の“接触”を完成する二次的要素である。

ヒートシールは次の要素を確実に達成することが求められている。

- (1) 包装材料の溶着層の熔融温度(1)を把握する
- (2) 溶着層を熔融温度以上(2)に加熱する
- (3) 過加熱温度範囲(4)を掌握する(ヒートシーラント、表層材料の2種)
- (4) 適正加熱温度に到達する時間(3)の制御を行う

この4要素の関係を Fig. 5-1 に示した。加熱体との接触部位の表層温度の応答は $[T_3]$ のみを示した。

従来は、溶着面温度の直接測定技法が完成されていなかったため、加熱体の温度調節値や加熱時間を調節した加熱サンプル群の溶着面の引き裂きテスト^{1),2)}や観察に依っている。

この方法では加熱の不足の定性的な確認はできるが、適正範囲か過加熱の領域かの識別は困難であった。このために、従来の管理手法では過加熱によって材料の熱変性を起こし、ピンホールやエッジ切れ等の包装の基本機能を失う不具合の発生源になっている。³⁾

適正加熱温度の選択はヒートシール強さ、Peel Seal 又は Tear Seal 領域の選択と表層包装材料の熱劣化を考慮することが期待されている。

表層材の熱劣化を考慮すると T_2 、 T_3 の加熱では、適正加熱範囲は狭くなっていく。

ヒートシール強さに及ぼす熱劣化は「角度法」³⁾ (第6章参照)によって容易に識別できることを提案している。

本章では、上記に提起した基本項目にリンクしている従来の技法の機能性の是非を「MTMS」キット(第3章 Fig. 3-3、Photo3-1 参照)と引張試験を用いて計測した結果と考察を以下に述べる。

5. 2. 1 4重のヒートシールの各部位の温度応答の測定結果と考察

スタンドパウチ、袋、縦ピロー等の包装袋では Fig. 5-2 に示したように単純な2枚重ねのヒートシールでなく4重のヒートシール部位と2重のヒートシール部位が混在する。

両面同一温度加熱の場合でも4重の1-2、2-3層、2重の1-1層の溶着面温度の応答は異なる。片面加熱の場合には応答の差異測定が必要となる。加熱温度の適正化には各部位の温度応答の測定確認が期待されている。

同一の包装材料を4枚重ねた1-2、2-3層の溶着面温度と加熱体の表面にコートしたテフロンシート/包装材料の表層の接触点とテフロンシート/加熱体の温度の4点を両面

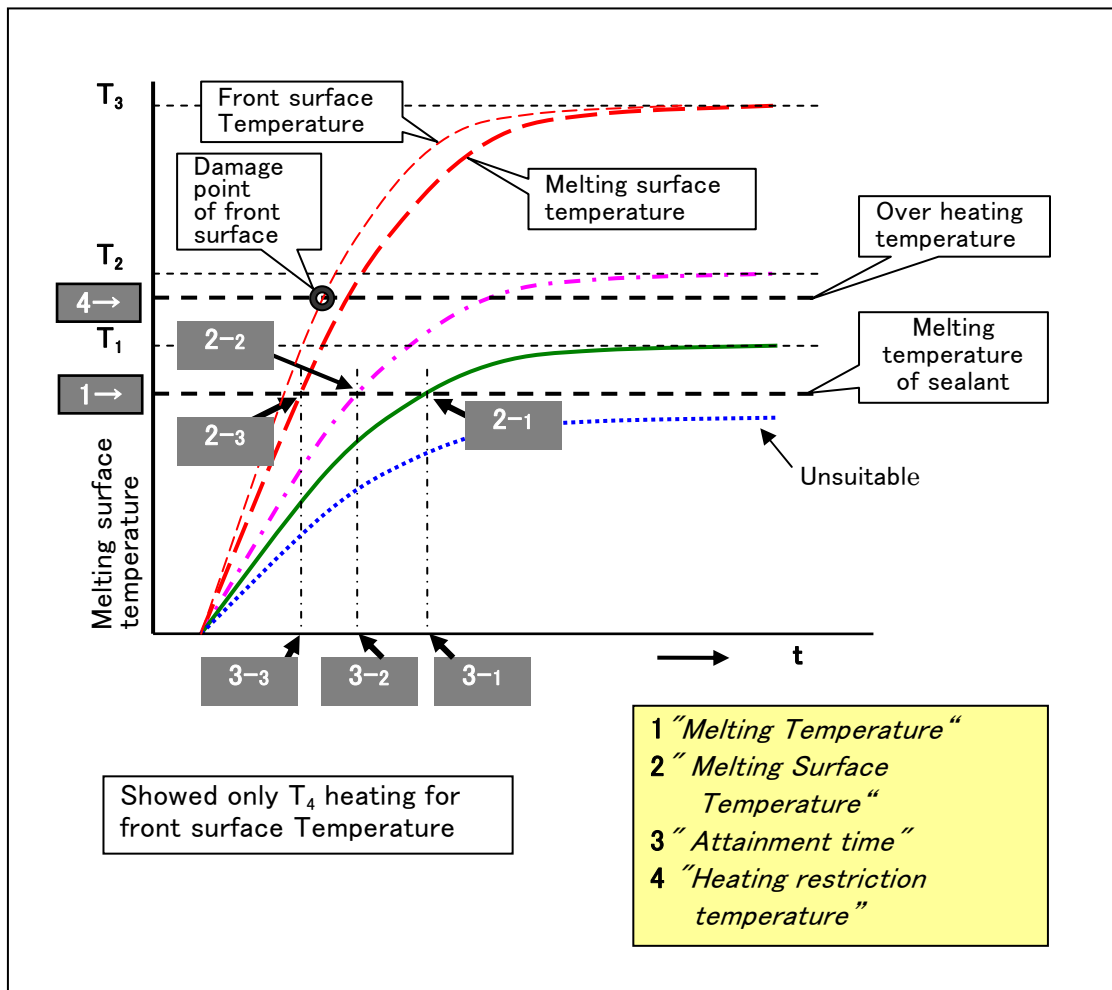


Figure5-1 Procedure of the Big Principle for completion of heat sealing

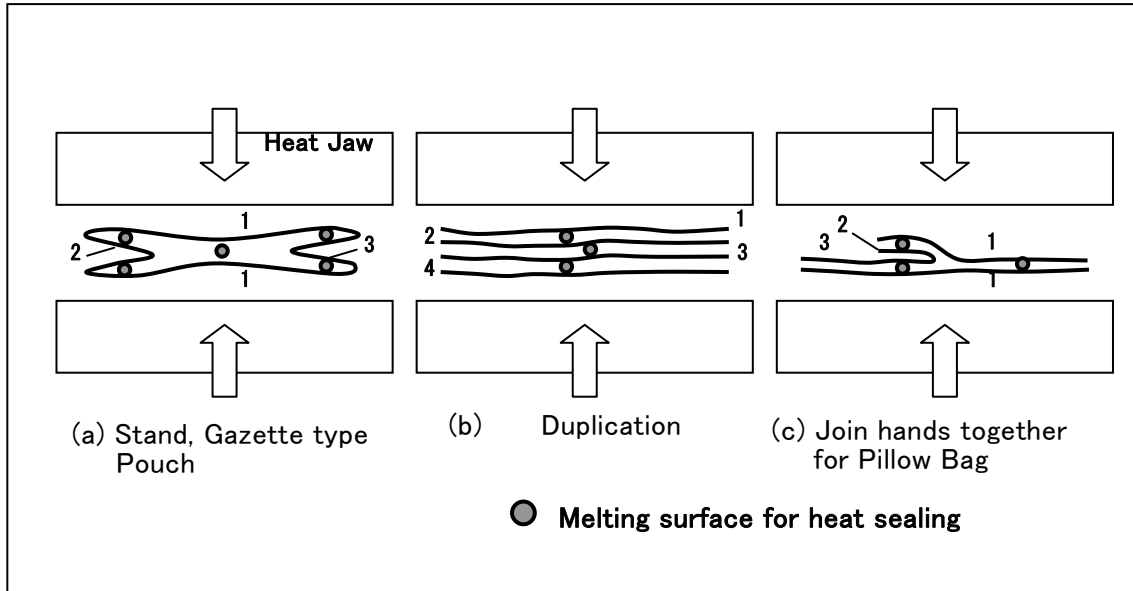


Figure5-2 Features of the heat sealing plane of the structure of the container by the difference

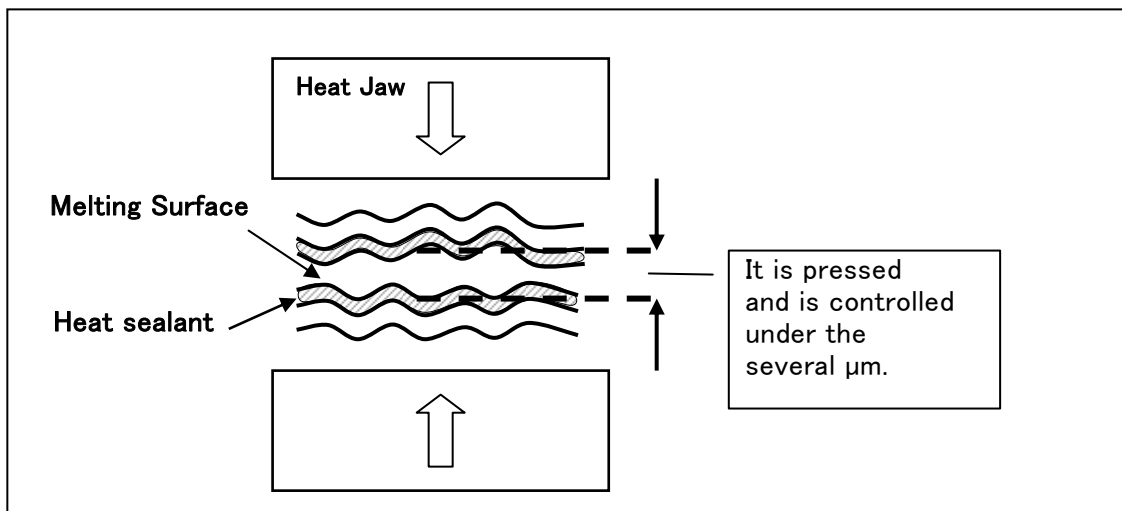


Figure5-4 Removal of the minute wrinkle by pressure joining

同一温度で加熱した場合の計測結果を Fig. 5-3 に示した。

この場合は2重袋やガゼット袋、スタンドパウチのガゼット折部分のヒートシール操作となる状態のシミュレーションである。測定点③と④が溶着面になる。②は通常言われている加熱体の表面温度に相当する。①は加熱体の表面温度である。

“MTMS”では加熱体の「表面温度」を基準にした各部の温度のシミュレーションを行いヒートシールの最適条件の設定を行っている。(第3章参照)

溶着面温度の③/④の温度差は材料の熱伝達特性、加熱温度と圧着時間によって決定される。実験例では加熱体の表面温度を190℃の場合であるが、この実験結果から測定点の④が設定した所定の温度(150℃)に到達する時間を先ず知ることができる。当然この時の測定点③は④より高くなる。測定点③のこの到達温度(169℃)がサンプルの熱変性に不具合領域かどうかの評価ができる。

もし190℃の表面温度の加熱で測定点③が許容されるものである場合には、同じ時間の測定点②の到達温度を検証する。測定点②の温度はサンプルの表面温度でもある。測定点②の温度(175℃)がサンプルの表層材の熱変性に不具合領域かどうかの評価ができる。

加熱体の表面温度5～10℃の間隔で変化させたグラフ群を作製して測定点の②、③、④の制限温度条件を元に、加熱温度と圧着時間のマトリックスが作製できて、定量化された最適なヒートシール条件を得ることができる。測定点②は、圧着以前は大気に曝されているので、加熱体の表面温度とは異なっていて85℃を示している。加熱体の表面温度を、表面温度計を使って測定することがあるが大気に曝されている状態では正確な表面温度の測定が困難であることを示唆している。加熱体(金属体)の表面温度はわずかな変化はあるが圧着作動中も安定している。

5. 2. 2 ヒートシールの圧着圧と溶着面温度の関係の測定と考察

ヒートジョー方式の加熱に付いて観察してみると、伝熱は被加熱材との接触によって行われる。ヒートシールの完成は数ミクロンの伝熱ギャップによって影響を受けるので⁴⁾(第8章参照)、接触状態によってヒートシールの完成に変化が生じる。

しかし強すぎる圧着圧は第3章3.4.1.3.で論じたようにヒートシーラント層が溶出するので、避けなければならない。

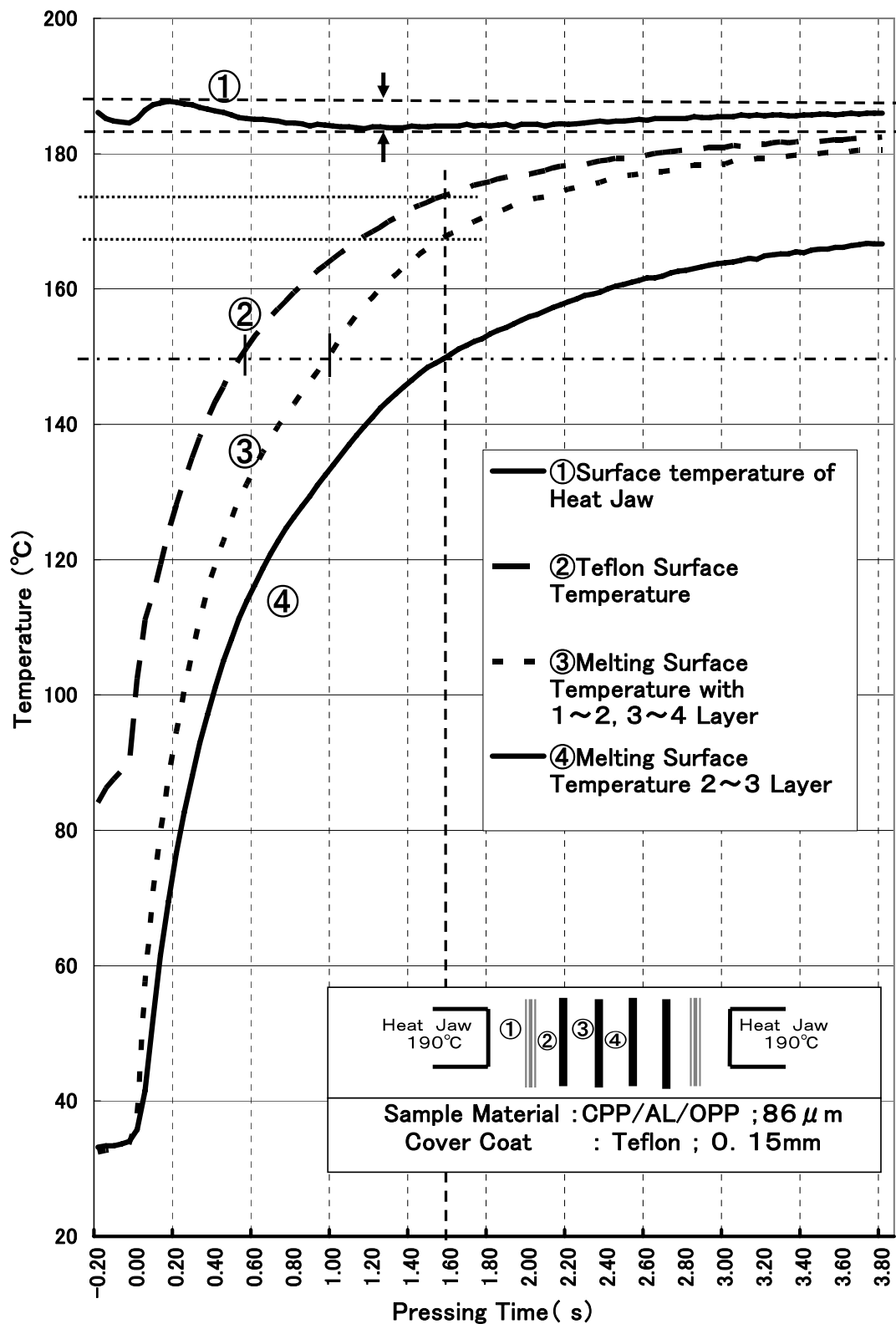


Figure5-3 Example of four-point simultaneous measurement by “MTMS”

包装材料のミクロな“しわ”を除去して溶着面を確実に接触させる適正加圧条件の測定が期待されている。 圧着圧の機能を Fig. 5-4 に図解示した。

サンプルにかかる圧着圧 [MPa] (ヒートジョーの作動空気圧ではない) をサンプルの両面の接触が始まる微小圧着圧の 0.05 MPa から 0.30 MPa まで変化させて溶着面の温度応答を計測した結果を Fig. 5-5 に示した。 この結果、圧着圧が低い領域では溶着面温度の応答が明らかに遅れて、熱伝導が不完全であることが分かる。 圧着圧が 0.08 MPa になると応答は非常に速くなる。 更に圧着圧を増加させても応答の変化は見られなくなった。 この結果から圧着圧が 0.08 MPa 付近以上で、熱伝達状態がほぼ一定になることが分かる。 0.30 MPa の応答結果を注意深く観察すると熔融温度以上の温度領域 (0.16 秒付近) で応答が早くなる異常を呈している。 溶着状態に変化が起こっていることが分かる。 高い圧着圧で液状化した熔融層の流動が起こっていることが推察され、高い圧着圧操作に留意が必要であることを示唆している。

圧着圧は 0.1 ~ 0.2 MPa に適正加圧があることが分かった。

5. 2. 3 揮発成分を含んだヒートシールの溶着面温度の挙動測定と考察

ヒートシールの溶着面には被包装品の液等が付着したり、使用した包装材料の溶着面が持っている未重合物質や外気から吸収した水分等の揮発性物質が存在すると加熱によって揮発反応が起こるので、溶着面温度は揮発成分が系外排出されるまで蒸気圧温度に留まる。 系外排出が留まった場合はヒートシール面が“泡状”になる。 揮発成分挙動の推定を Fig. 5-6 に示した。

揮発成分のヒートシールに及ぼす影響を調べるために含水した紙を使って、圧着圧と溶着面温度の関係の応答を調べた。 サンプルとしてコピー用紙を湿したタオルで包み含水させた。(各テスト片は同一の含水量にしてあるが定量化していない) 圧着圧は架けた応力を試験片の受圧面積で除して求めた。 この測定結果を Fig. 5-7 に示した。

含水したサンプルの溶着面温度応答は含水していない資料の応答と比して明らかに遅れる。 溶着面温度の挙動は圧着圧によって一定になる温度値が異なることがはっきり分かる。 拘束温度と蒸気圧の関係⁶⁾を当てはめてみると、蒸気圧と圧着圧が略一致していることから拘束温度と圧着圧の関係が有意になっている。

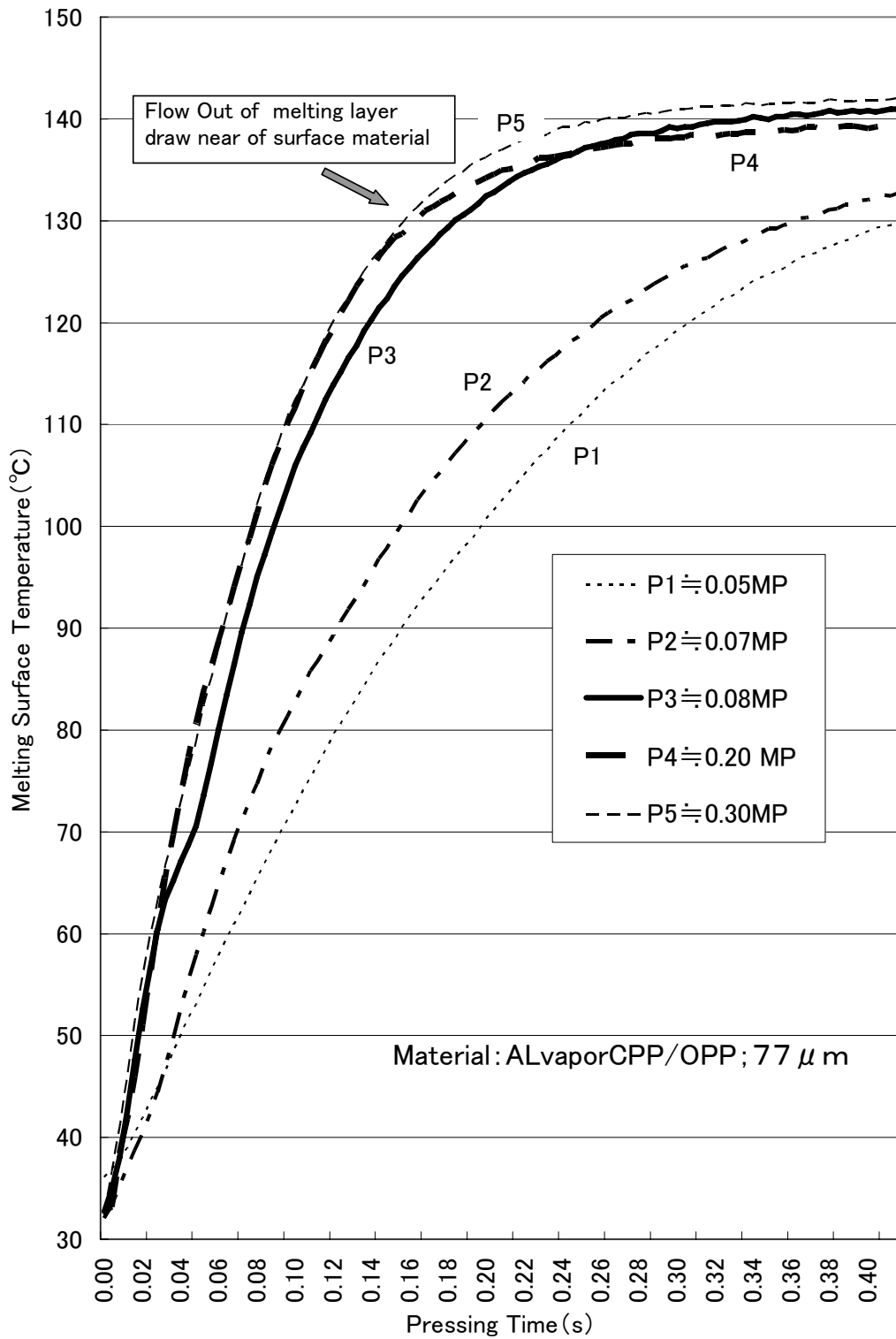


Figure 5-5 Difference and melting surface temperature response of pressure

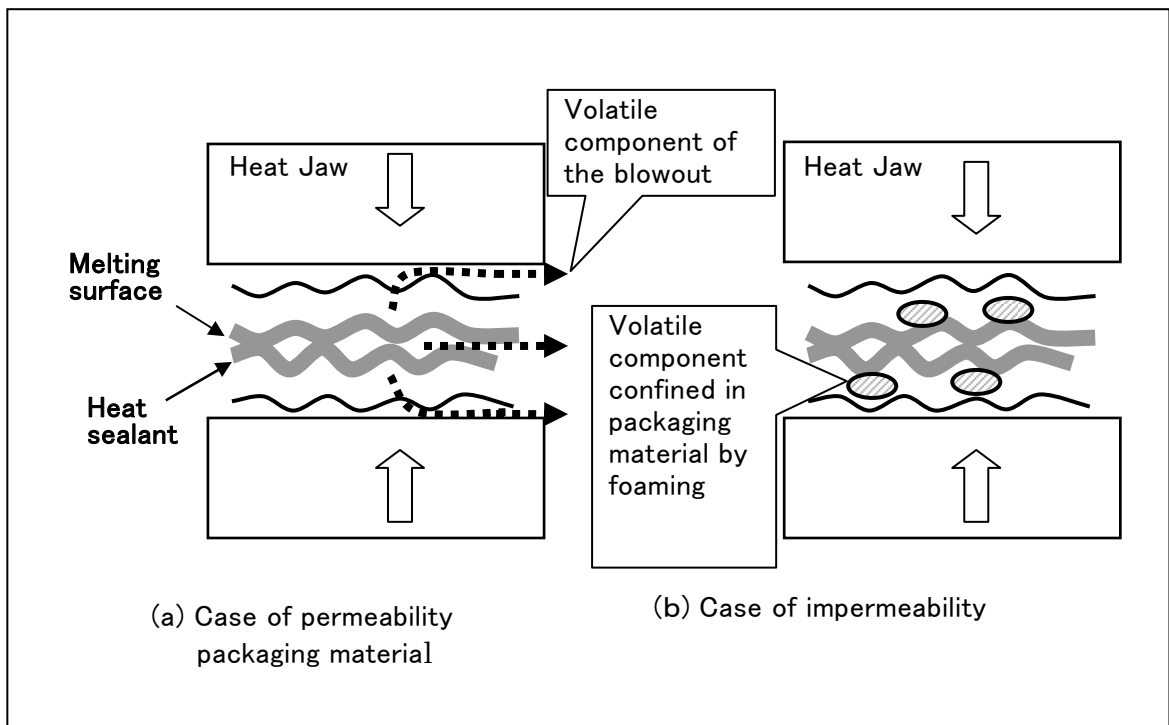


Figure5-6 Behavior of volatile component in the heat sealing

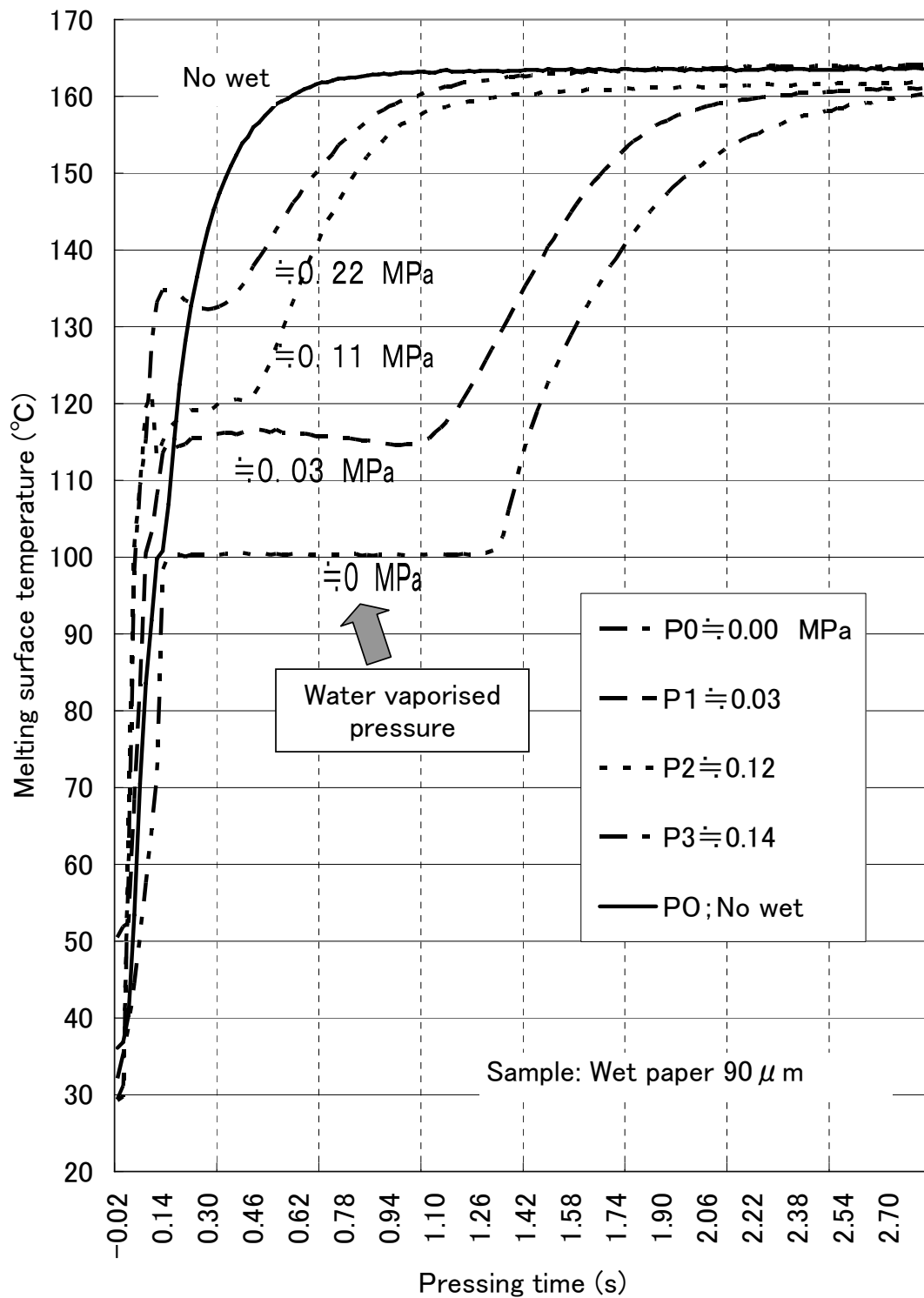


Figure 5-7 Response with the volatile component in melting surface

この試験の場合は、サンプルは紙で繊維状なので、内部の水分は加熱によって系外に突沸したことが温度上昇から分かる。

プラスチック包装材料の場合でも揮発成分が溶着面に存在する場合は同等の現象になるが、ラミネーションフィルムの内側層に揮発成分が存在する場合は包装材料の伸びやデ・ラミネーション強さに左右されるが、気化したガス体は発泡体として層間内に残る。内部に揮発成分を含んだサンプルの“発泡”例を Fig. 5-8 に示した。この例はラミネーション層にナイロンを使ったレトルトパウチ包装材料である。145℃では Peel Seal 状態であり、外観は透明である。剥離状態は界面剥離である。150℃加熱は外観からも発泡状態が確認でき、剥離は Tear Seal 状態であり発泡によって溶着面に気泡の仕切りができています。

揮発成分を含んだ系では [揮発温度]、「加熱温度」、「溶着温度」と圧着圧の四者の関係に注目する必要がある。⁷⁾

5. 2. 4 発熱体にテフロンシートを装着した場合のヒートシール操作への影響

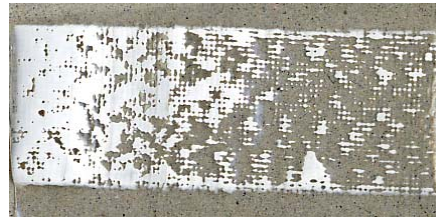
発熱体の表面にテフロンシートのカバーを装着することが習慣的に多用されている。導入目的の発言を列挙してみると以下のようなものがある。

- ・ 充填物の付着の容易な掃除性
- ・ 包装材料の焦げ付きの軽減
- ・ ヒートシール面の布目仕上げの“美粧性”
- ・ クッション性
- ・ 表面温度の均一化
- ・ オーバーヒートの抑制

これらの期待機能の多くは、工程上の他の不具合によって起こる対症療法的目的で適用されていて、論理性が乏しいと言える。対症療法の原因に付いての議論は別の機会に行うものとして、テフロンシートの装着がどんな機能を有しているかの検討をする。



Outline at 145°C



Peeling plane at 145°C



Outline at 150°C



Peeling plane at 150°C

Figure5-8 Aspect which foams in lamination layer in the heat sealing plane

5. 2. 4. 1 発熱体にテフロンシートを装着した場合の被加熱体との接触面の温度挙動

発熱体表面にテフロンシートを装着した場合の熱流のシミュレーション回路を Fig. 5-9 に示した。シミュレーション図から理解できることは、テフロンシートは熱流抵抗（抑制）となる。特性を診るために厚手のテフロンシート使ったり、枚数を増やして熱抵抗を変化させて、ステップ加熱による溶着面温度の応答を測定した。

（第4章）の Fig. 4-5 で示したように、熱流制御の効果は熱勾配が小さくなるから包装材料の表面と溶着面の温度差を小さくさせる機能がある。

テフロンシートをカバーの表面と被加熱サンプルの接触面の繰り返し操作の温度変化の測定結果を Fig. 5-10 に示した。測定点の温度は被加熱材の接触によって、先ず被加熱材の表面温度に向かって急激に低下する。低下速度と上昇は一義的には被加熱材の初期温度と熱容量、二義的にはテフロンシートの熱抵抗で決定される。下降してから上昇した時の接触面温度が溶着面温度応答から作成したシミュレーションデータ（Fig. 4-10 の事例参照）で設定した表面温度に到達すれば適正加熱を達成したことになる。（シミュレーションデータを採取する時に“MTMS”キットに実際と同じテフロンシートを装着して行えばこの配慮は不要になる）この系では表面温度が定常状態に復帰する時間よりも短い時間の間欠動作が行われれば、テフロンの表面温度は低温側にオフセットして行って加熱が不足する事態になり、間欠動作の場合は、テフロンの表面温度は低温側にオフセットし、加熱が不足することになり、初期のヒートシール強さが得られないことを示している。

5. 2. 4. 2 発熱体にテフロンシートを装着する効用の検討実験と考察

テフロンシートの装着は熱流の減少化の効果を有しているので、被加熱体の熱伝導能力より低めな熱供給をすることで被加熱材の表面（加熱体との接触面）と溶着面の温度傾斜を小さくすることができるので表層の熱劣化を軽減できると考えられる。

ここでは、テフロンシートの熱流調節が本当に適切な対処方法なのかを、テフロンを装着しない場合に得られる加熱の高速化分を加熱温度を低下させた加熱体温度を加熱上限温度以下に設定して、テフロンシートをせずに加熱体を直接接触加熱する方法の加熱速度を検証して、オーバーヒートの危険を本質的に回避する方策を模索する。

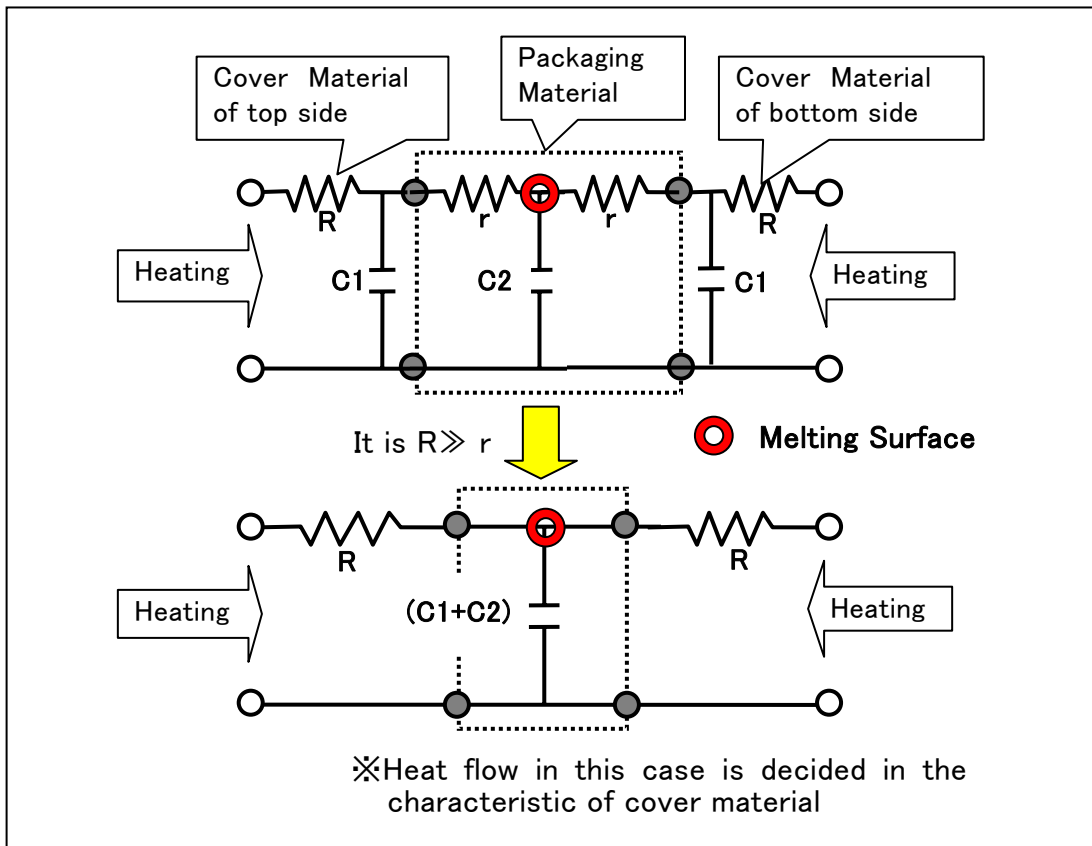


Figure5-9 Simulation circuit of the heat flow control by the cover material

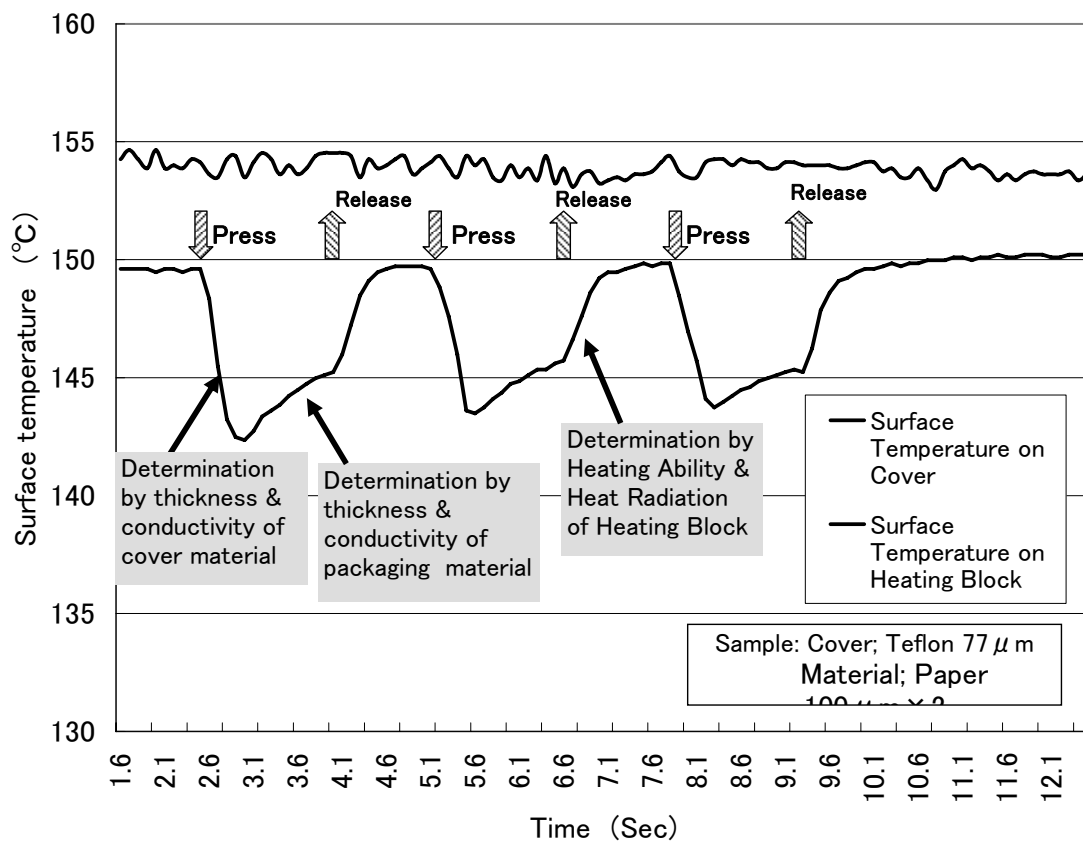


Figure 5-10 Dynamics with heating surface temperature

溶着面目標温度：140℃、過熱制限温度：160℃の条件における最速加熱条件のシミュレーションを例にして、テフロンコート of 効用性を検討した。シミュレーション結果を Fig. 5-11 (a), (b) に示した。

Fig. 5-11 (a) は加熱体の表面温度を 150℃に設定してテフロンなし、[t=0.14mm] のシートで挟んだ応答を測定したものである。そして t=0.14mm のテフロンシートをカバーした略同一の応答を示した 185℃加熱のデータを併記したものである。この事例の場合、150℃加熱で目標の 140℃の加熱には≒0.5 秒を要した。この時の表層温度 143℃である。

テフロンなしの場合の加熱条件では上限制約温度が 160℃なので、加熱時間の上限の制約はなく、長時間加熱になっても過加熱の危険は本質的にない。一方、[t = 0.14mm] のテフロン装着すると同等の加熱時間を得るためには 185℃の加熱が必要であることが分かった。この時の表層の加熱制限条件の 160℃とのマージンも小さく、温度傾斜の途中での正確な加熱停止を要求していることが分かる。Fig. 5-11 (b) には Fig. 5-11 (a) に示したのと同じ方法で、少し薄い [t = 0.1mm] のテフロンコートを加えた実験結果を加熱温度をパラメータにして溶着面温度が 140℃に到達する時間とその時の表層温度データをまとめて示した。この結果からテフロンコートの効果は、①加熱時間が遅延する。②応答を速めるためには加熱温度を高くする必要がある。③加熱が高温側に移動するので表層の熱劣化のリスクが増加する。等が分かった。

ヒートシールの安定化の視点から診るとテフロンを装着する有用性は見出せなかった。

5. 2. 5 発熱体の表面の温度分布の計測と考察

ヒートシール面の均一完成の最大の不安定要素は加熱面の温度ムラである。

被加熱材から見ると加熱ムラの原因要素は次のものがある。

- ①加熱体面の温度ムラ：発熱体の長手方向の製作上の発熱ムラや直角方向の加熱体の構造によって発生するムラ。
- ②加熱体の圧着動作の圧着ムラ：加熱体の表面仕上げムラ、ジョー動作の平行性／ガタ、加熱による熱変形で発生する。
- ③加熱体の中央部と周辺の温度傾斜：長手方向と直角方向の温度傾斜、加熱体の形状によって発生する。

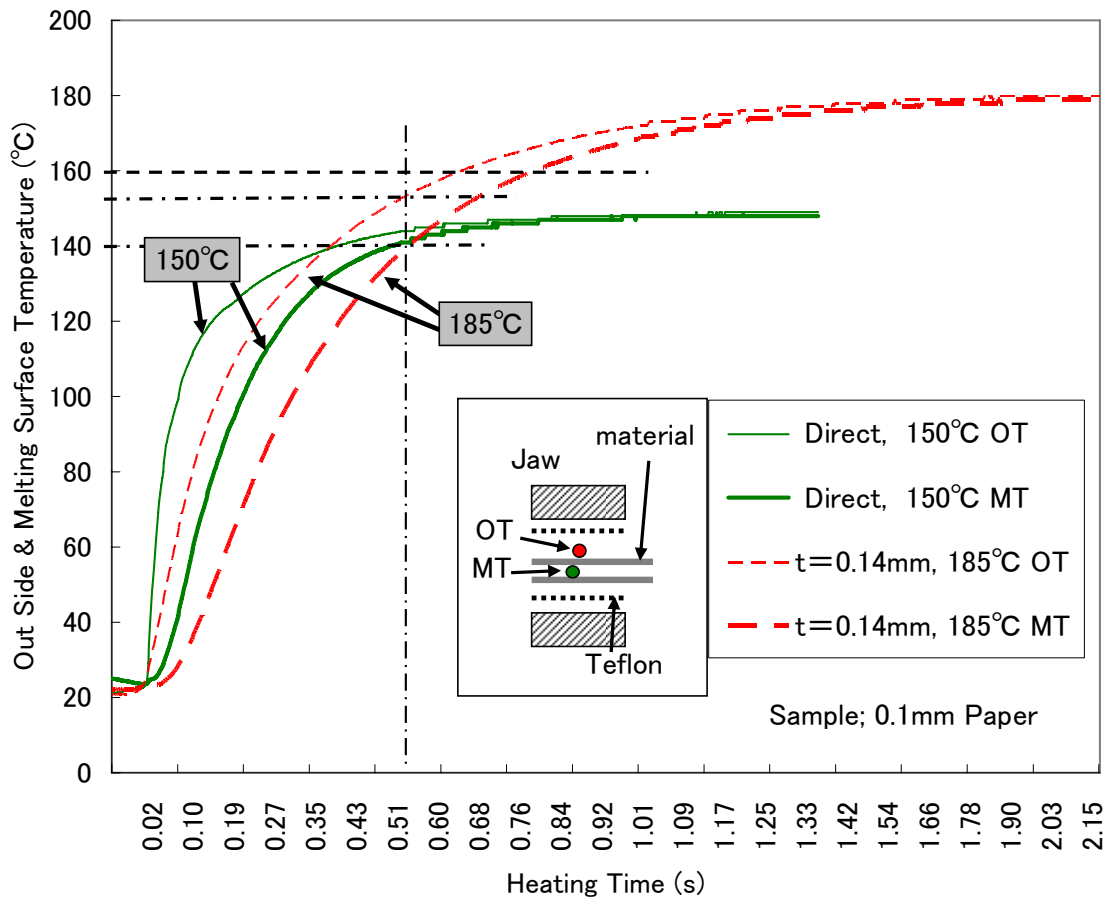


Figure5-11(a) Difference case of the response of melting surface temperature of the mounting of the Teflon coat by the existence

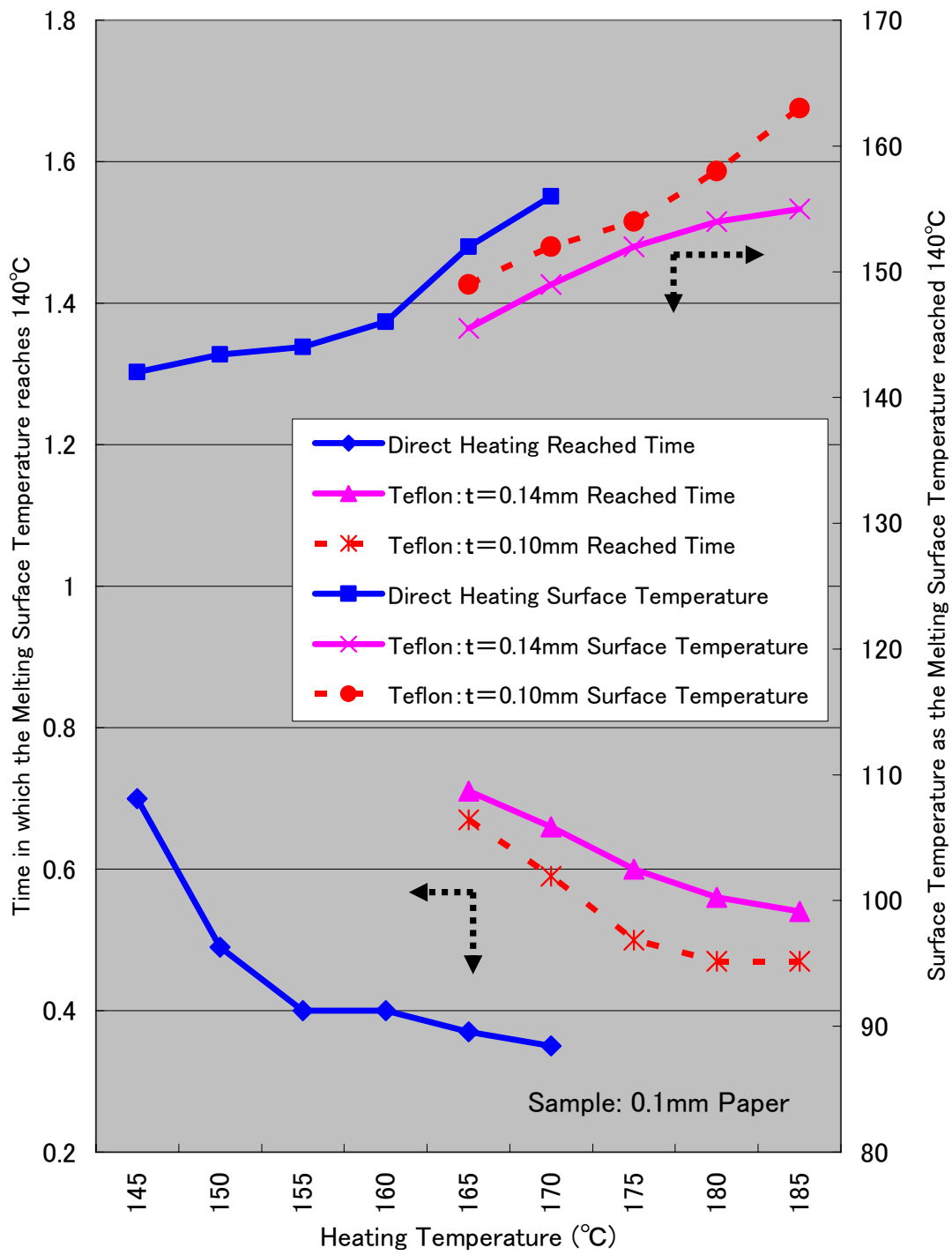


Figure5-11(b) Utility comparison of the response of melting surface of the mounting of the Teflon coat by the existence

④放熱ムラ：加熱体周辺からの熱放射、加熱体の保持構造物への伝熱、周辺空気流のムラで発生する。加熱ムラの発生は上記の要素が複合して起こるので、加熱の適正化解析には個別要素別に特性検証が必要である。

“MTMS”の微細点の温度測定機能を適用して、ヒートジョー方式の加熱体の以下の表面温度分布の測定を行った。

①圧着時のX軸方向（長辺）の表面温度

②中央部の圧着時のY軸方向（短辺）の表面温度

長さ100mm、幅30mm、圧着部15mmのヒートジョーを両面同一温度加熱（調節感度0.1℃）の圧着時の表面温度の測定結果を中央部（150℃）との温度差を Fig. 5-12 に示した。本実験の計測対象のヒートジョーにはX軸方向にヒートパイプが装着されているので温度ムラは非常に改善されているが、ヒータのリード線引き出し側の発熱不足が観察された。リード線引き出し側は20～30mmのゾーンの使用は避けた方が良いことが分かった。

一方、Y方向の温度差は加熱体の構造から決まる放熱が影響し、周辺に行くに従って低くなるのは自然現象として捉える必要がある。本試験対象では中央部との温度差は0.2℃以下の良好な結果を示した。Y軸方向はヒートシール強さを保証する方向になり、温度差の大小の把握は加熱条件の許容範囲を決めるのに重要である。この知見はヒートシール巾の選択と加熱体の形状の設計の参考になる。

5. 2. 6 インパルスシールの溶着面温度挙動の計測と考察

インパルスシールの作動構造を Fig. 5-13 に示した。インパルスシール方式はインパルス状の電流を抵抗線に流してジュール熱を発生させる。加熱量は通電時間（パルス巾）で調整するのが通常式である。抵抗線は細いので熱容量が小さく加熱後の冷却が短時間で完了する特徴を持っている。単一フィルム of ヒートシールでは溶着面の適正加熱を行うと表層部分は完全な熔融状態になってしまい加熱後の加熱体の離脱が難しい。インパルスシールでは発熱部が短時間で冷却できるのでこの課題に対応しやすいヒートシール方式として利用されている。実際のインパルスシーラーでヒートシールの溶着面温度と表層温度の応答測定の結果を Fig. 5-14 に示した。通常、インパルスシーラーでは加熱電流は一定にして通電時間をタイマーで調節して加熱量を制御している。通電OFFの時点

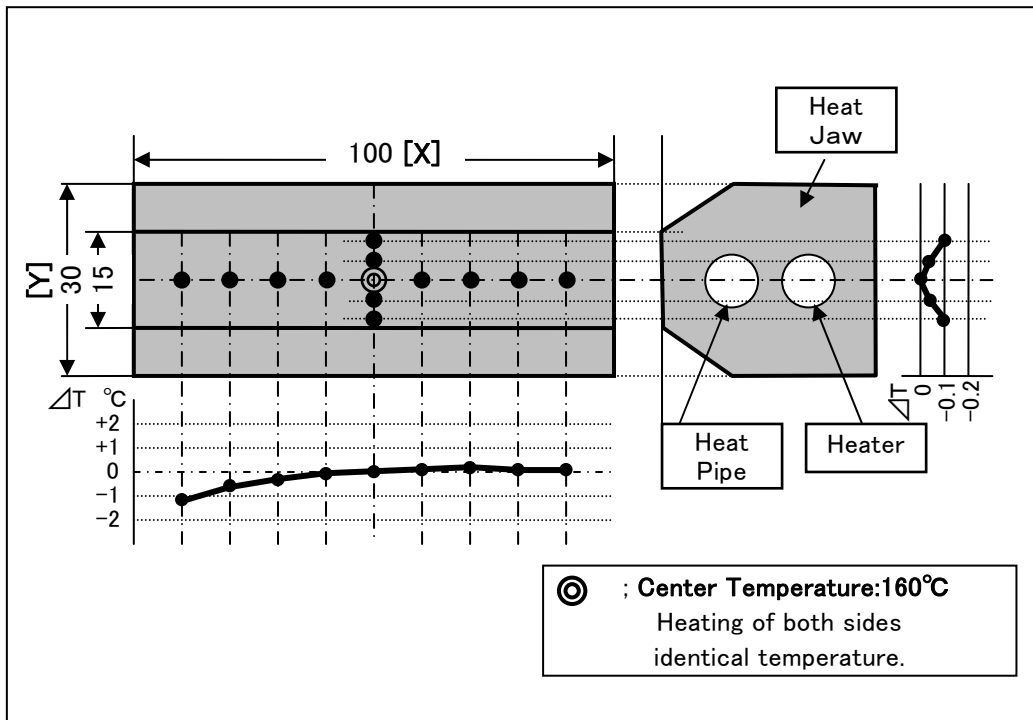


Figure5-12 Distribution measurement of surface temperature of heat jaw

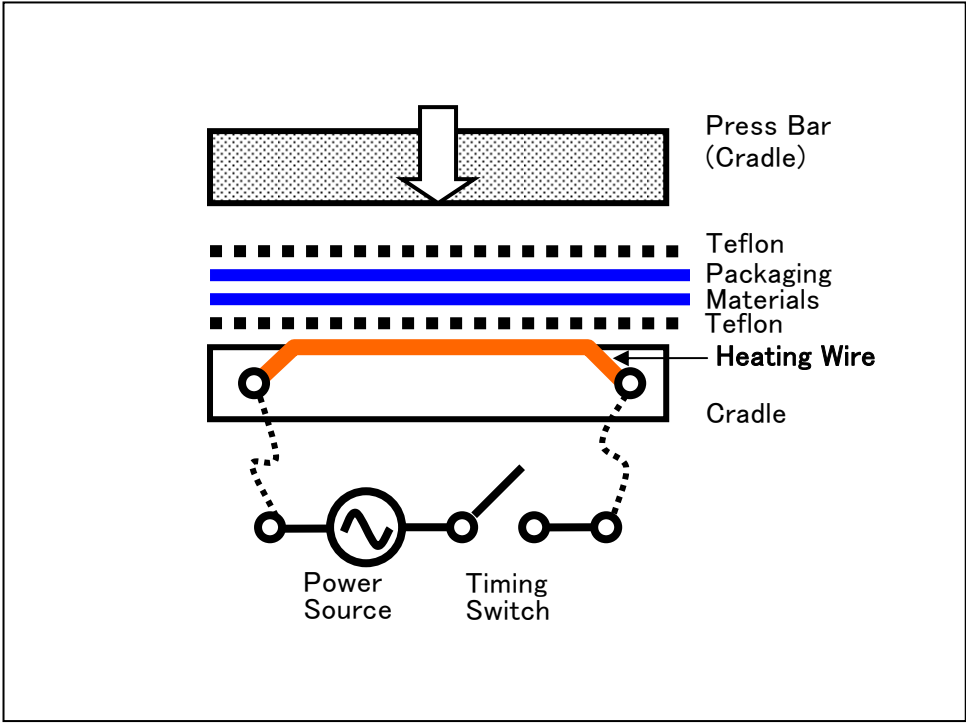


Figure5-13 Schematic diagram of impulse heat sealing

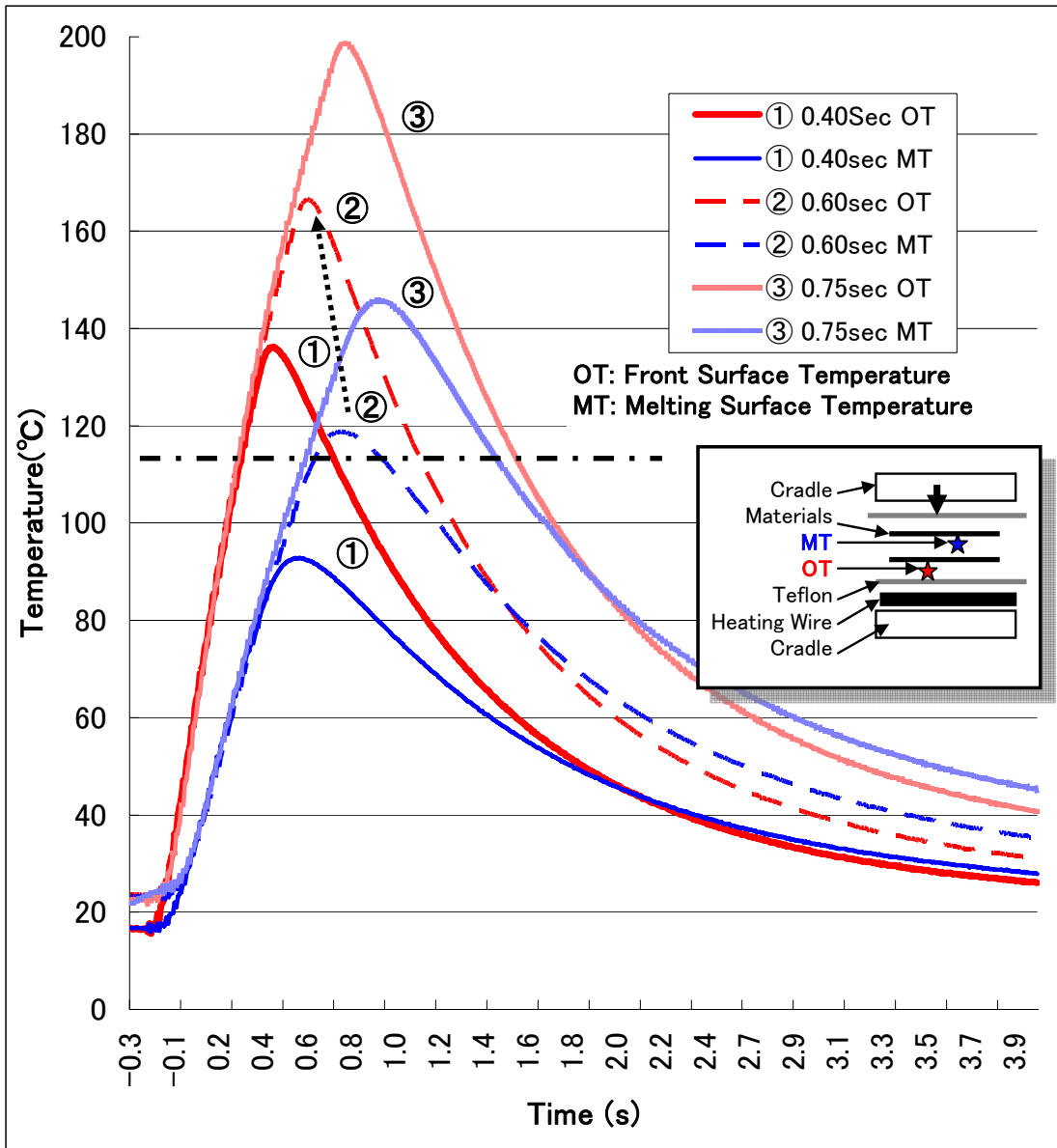


Figure5-14 Response example of the heating by the impulse sealer

がヒートジョー方式の開放のタイミングに相当する。応答データから、タイマーの設定時間が長くなると表面温度／溶着面温度共、上昇線は1次応答曲線上になることが分かる。インパルスシール方式は発熱体の熱容量が小さいのが特徴であるので、発熱対には熱チャージがないので、被加熱材に必要な熱エネルギーは通電時の発熱によって供給することになる。この実験の場合、115℃の溶着面温度を得ようとする0.6秒の通電条件が適当であることが分かるが、この時のヒータ線との接触表面温度は0.1mmのテフロンを介しても165℃に達している。表層包装材料に対する熱劣化の大きいことが分かる。この結果からヒータ線の上昇温度は電流値によって決まるので、発熱温度は表層材の耐熱温度以下になるように電流を調節する必要があることが分かる。表層包装材料の熱劣化を避けるためには、電流値を小さくする要求があるが、この結果、加熱時間が長くなって生産性は低下する。インパルスシールを利用する場合には生産性と熱劣化の兼ね合いの留意が必要であることが分かった。インパルスシールの場合は単一フィルムに適用する特徴があるから、少なくとも表層が熔融温度より低下（固化）する間、圧着を保持して冷却する必要がある。実験例の②では冷却応答から溶着面温度が熔融温度以下になるのに1.5～2.0秒の待機が必要であることが分かる。インパルスシールにおいては、通電時間、通電電流と開放タイミングが制御ファクターになることが分かった。

発熱体は抵抗線を使うので、原理上、ヒータ線の巾を広くして均一の発熱を起こさせるのが難しい。このために巾の広いヒートシールには適さない。インパルスシール装置では加熱性能の画一化が難しいので、ヒートジョー方式のように加熱体の表面温度でのシミュレーションが難しい。ヒートシール面の巾が5mm以下になるので、溶着はTeae sealゾーンで行う必要がある。（第7章の剥離エネルギー論を参照）

5. 2. 7 インダクションシールの溶着面温度挙動の測定と考察

インダクションシールは20数年前にガラス容器のインナーシールで実用化段階に入っていた。しかし条件設定の難しさと操作の信頼性の保証方法が確立されていなかったため一部の製品に残ったのみで汎用的シール方法から遠ざかっていた。アメリカのSeptember 11以降、FDAは包装品の封緘に対するセキュリティー性の高度化を医薬品包装主体から食品包装にまで拡大している。⁵⁾ 具体的にはパーマネントシールのセキュリ

ティーの保証である。 ヒートジョー方式等のように発熱体を直接接触させるヒートシール方式はヒートシール自体の信頼性は高いがTamper Evidenceが低い点が指摘されている。

インダクションシール方式の概要を Fig. 5-15 に示した。 インダクションシールではキャップ内に金属箔と一体にしたインナーシール材を挿入する。ボトル容器のキャッピング後に無接触で交番磁界を与えて、金属箔にジュール熱を発生させ、この発熱をヒートシールの操作熱エネルギーとして利用する。 キャップの Tamper Evidence 能力との相乗効果でセキュリティー性は格段の向上が図れる。アメリカの包装界では封緘のセキュリティー向上の要求に対応してインダクションシール方式のリバイバルが起こっている。

インダクションシールは電気現象の基本特性から磁力線照射の導電体内に円線状にジュール熱が発生するので面加熱や矩形状のヒートシールは困難である。

インダクションシールの完成に関係する要素は以下のものがある。

- ①被加熱体の受ける磁束密度：・励磁源のパワー、・磁束の収束、
・励磁コイルから被加熱体迄の距離
- ②励磁時間：・励磁ゾーンの通過時間、・励磁装置の作動時間
- ③金属箔発熱能力：・金属箔の電気抵抗、・厚み
- ④ヒートシーラントの熱容量：・ヒートシーラントの厚さ、・物性
- ⑤被接着側の熱容量：・ガラス、・プラスチック

インダクションシールの完成の不具合は上記の要素が複合的に関係して起こるので解析には個別の現象の解析が必要である。

本報では“MTMS”の微細部位の温度測定機能を適用して励磁条件の適正検査の結果を報告する。

インダクションシールの加熱時間は被加熱体が交番磁界内に置かれた時間になる。制御方法は被ヒートシール物を停止して磁界を一定時間照射するか、連続に照射されている磁界ゾーンの通過時間を制御するかによっている。

Fig. 5-16 に被ヒートシール体を停止して照射時間を調節する方法のインダクションシールの溶着面温度の応答測定結果を示した。計測方法は予め微細センサをボトルのヒートシール面にセットし、キャップを装着して締めた。温度計測機の入力端子の直前に

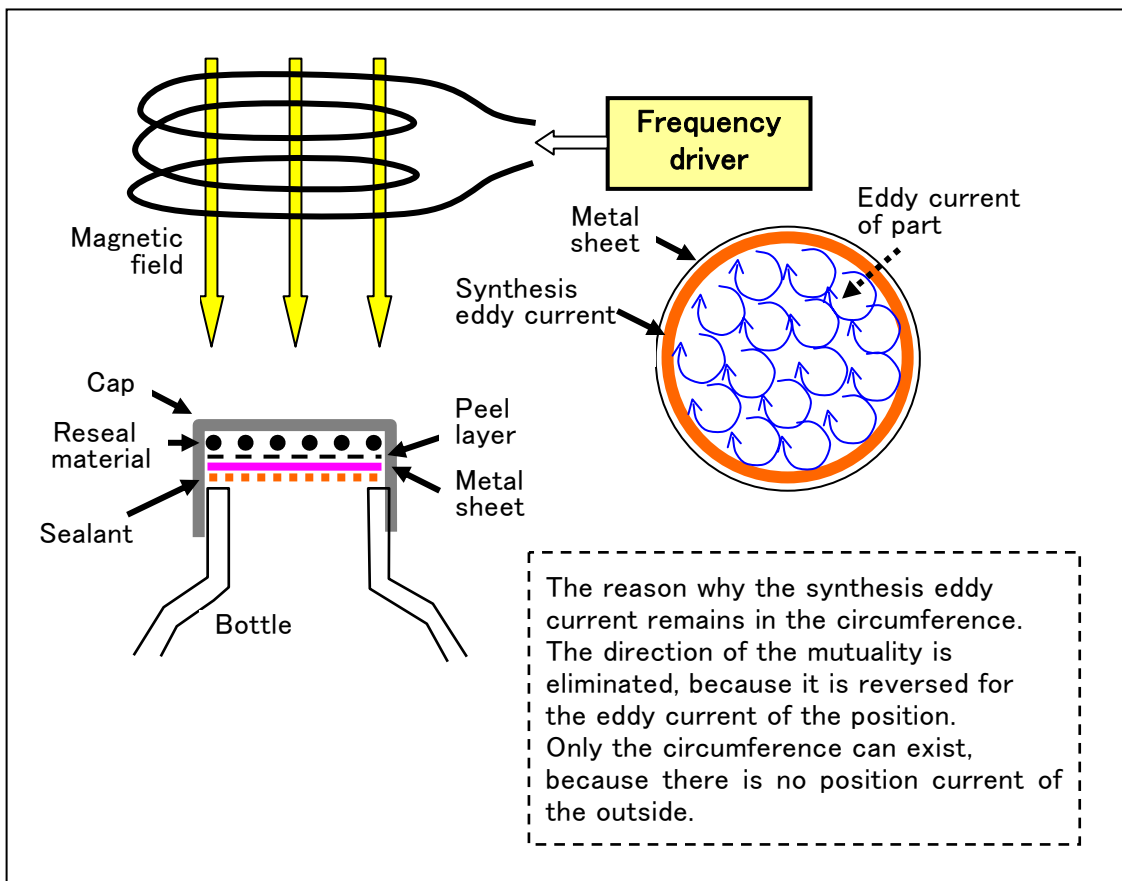


Figure5-15 Schematic diagram of induction heat sealing

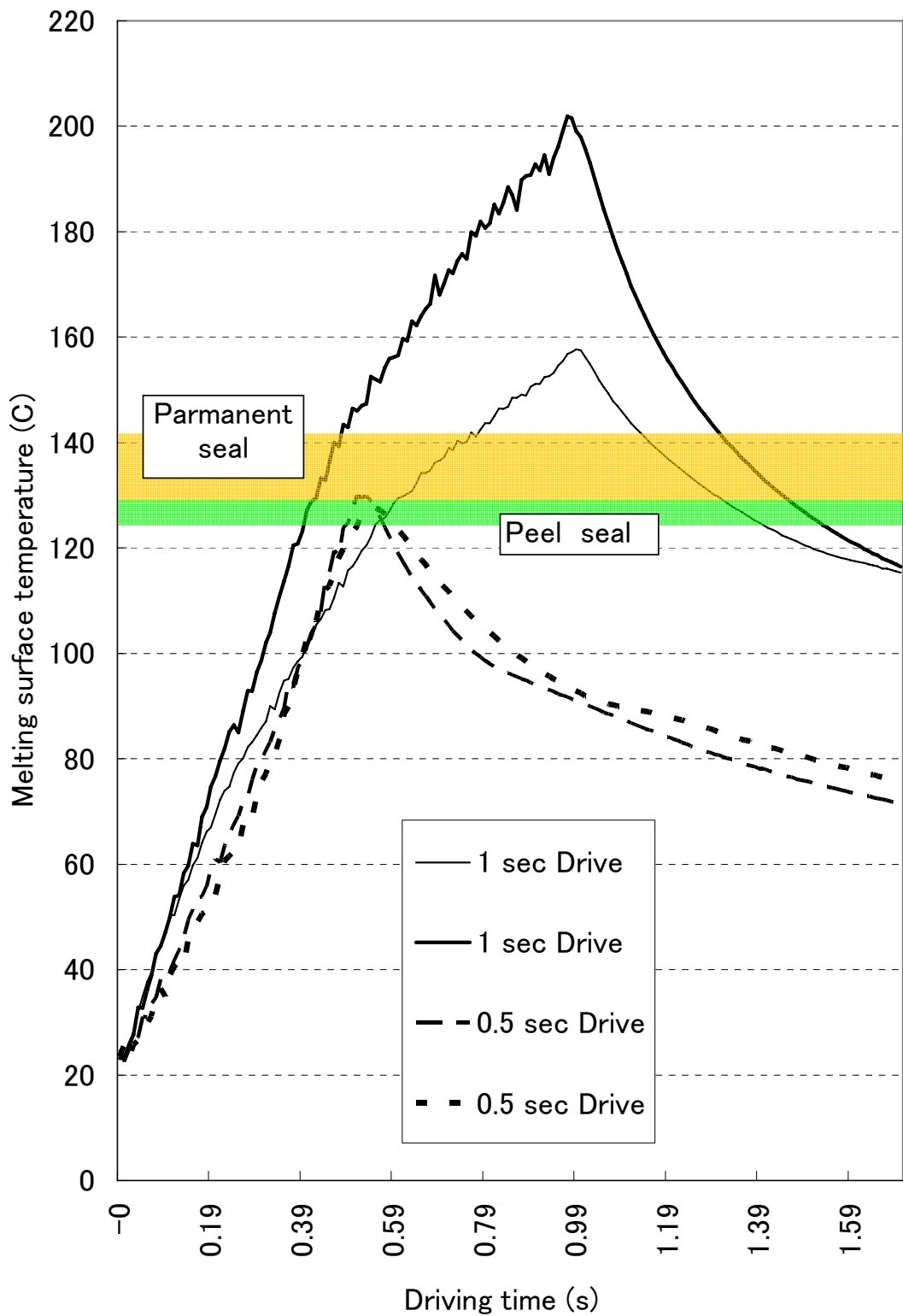


Figure5-16 Melting Surface Temperature response of Induction Seal by "MTMS"

励磁周波数の誘導信号を除外するフィルター回路を設置して、熱電対の微弱な直流信号が乱されないように配慮した。そして上部から磁気を照射した。適正加熱範囲は予めシール材とボトル材の熔融特性を熱特性測定法（第4章参照）を使って掌握しておいた。

インダクションシールのオーバーヒートは金属箔の溶解となり、シール材に穴が開くので重大な欠陥になる。インダクションシールでは誘導電流の発生経路と所望のヒートシール線を一致させ、かつ適正な発熱を実行する必要がある、検証の重要さが分かった。

本実験はミシガン州立大学包装学科との共同研究である。

5. 2. 8 片面加熱の溶着面温度の挙動の測定と考察

カップの蓋材の溶着のように両面の加熱が困難な方法が少なくない。[第3章の **Table 3-1** 参照] 片面加熱の場合は被加熱体の熱容量と伝熱特性によって決まる加熱側から非加熱側への熱流量によって、被加熱側の受け台の表面温度が変化する。非加熱側の受け台の表面温度の上昇は溶着面温度上昇に影響するので、加熱のバラツキになり適正加熱を阻害する。片面加熱は加熱側の温度、圧着時間、インターバル、被加熱の包装材料厚さ等が変動要素となり操作の標準化が難しい。条件毎の加熱応答の測定と把握が必要とされている。

Fig. 5-17 は薄手の包装材料の片面加熱の連続運転の立ち上げ時の受け台（シリコンゴム）の表面温度の挙動を《“MTMS”キット》（第3章参照）でシミュレーションした結果を示した。操作のインターバルは≒1回/Sec.である。この場合、加熱熱流は包装材料を通過して、非加熱側の受け台を加熱するので、受け台の表面温度は流入熱と放熱のバランスするまで徐々に上昇する。運転開始後数ショットの製品では溶着不良が発生する。数ショット後の製品をサンプリングして熱溶着を試験すれば加熱不足が検出される。従って、運転者は加熱温度を高温側に設定変更することになり、変更後の数ショットは適正加熱となるが連続運転になるとオーバーヒートになってしまうことを示唆している。

Fig. 5-18 は厚手の包装材料の場合のシミュレーション結果である。診断対象と同一条件にするために低温側に[t=5mm]のクッション用のシリコンゴムを装着して、104℃に加熱している。温度測定は加熱側のテフロンコート表面温度と受け台のシリコンゴムの表面温度を測定した。このケースの場合は高温加熱の熱流はほとんどが被加熱材で消

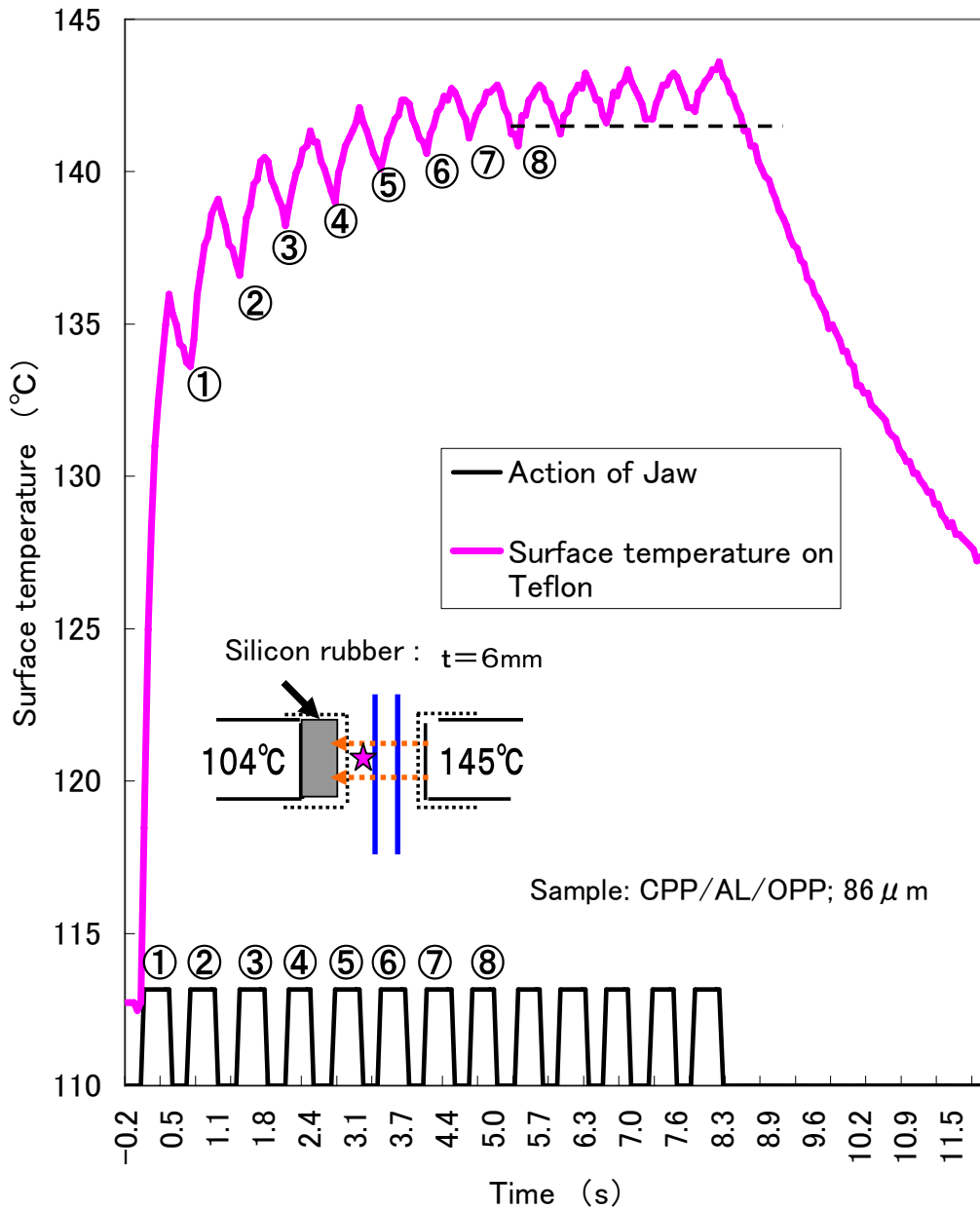


Figure5-17 Example of a drift of the surface temperature in a different temperature setup [Case of the thin packaging material]

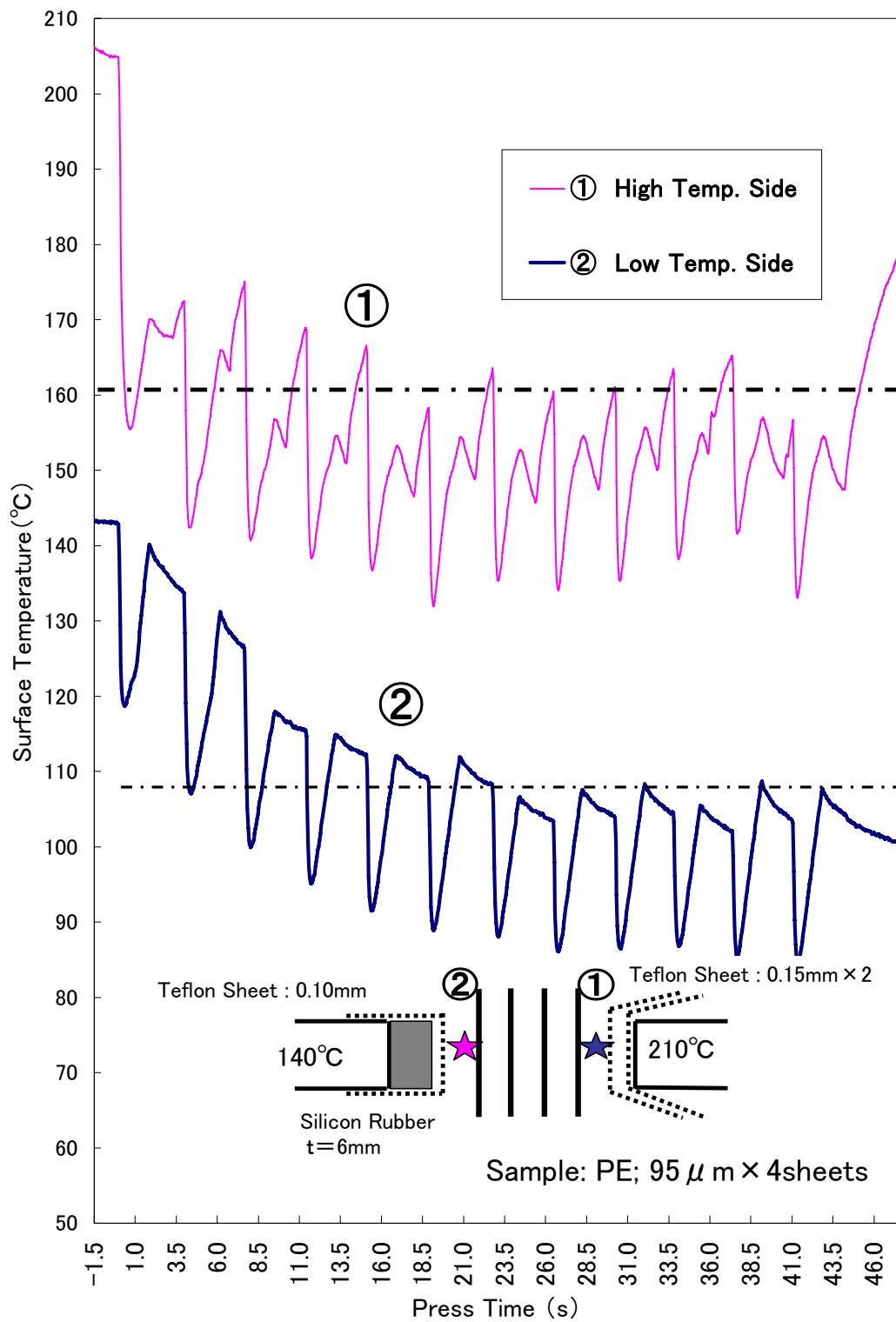


Figure5-18 Example of a drift of the surface temperature in a different temperature setup [Case of the thick packaging material]

費され、受け台のシリコンゴムの表面温度はシリコンゴムの伝熱性能で決まる補給熱量と被加熱材に奪われる熱量とバランスした状態で一定になっている。

この場合は数ショット後の製品ではヒートシールが良好でも通常運転状態になると受け台側の温度が低下するので、加熱不良が発生する方法になっていることが分かる。

片面加熱の最適条件は何ショット打った点が定常状態であるかの検証の必要性を示していることが分かった。

5. 3 本章の考察

(1) 加熱温度／圧着時間は包装材料の

①最適加熱温度

②熱変性限界温度

③表層包装材料の耐熱

の基本特性から決まる条件を数量的に立証できた。

(2) 圧着圧とヒートシール強さの関係が論じられるが、それは圧着が不完全な状態から完全な状態に移る段階の現象であって、圧着圧がヒートシール強さを支配する本質的な指標でないことが分かった。強すぎる圧着は接着層に流動を起こさせ“ポリ玉”の原因になる。

実際には加熱温度ムラや加圧ムラの不均一な圧着条件によるヒートシール強さムラをTear Seal 側に持っていく効果と推察される。

(3) 溶着面に揮発成分が存在する場合には、圧着圧によって溶着面温度の挙動が変化することが分かった。揮発成分を含む場合の加熱条件は

$$(\text{溶着温度}) \leq (\text{加熱温度}) < (\text{揮発温度})$$

の条件の加熱を配慮したい。⁷⁾

(4) 加熱体の表面にテフロンシートを装着することは加熱流制限を必要とする特殊な場合を除いて有用な知見は得られなかった。通常のヒートシール操作ではテフロンの装着を排して、加熱温度を低温化することによって、より高速で信頼性の高いヒートシールが可能でありテフロンの装着は不要であることが分かった。

(5) ヒートシールの操作源の加熱体の表面温度分布が存在することは必然であるので、

分布を小さくする装置と温度ムラを考慮した温度設計が必要である。

(6) インパルス、インダクションシールのようにヒートシールの達成の阻害要因が発熱特性、伝熱特性が複合的に存在するヒートシール方法では機器毎に操作量と溶着面温度の関係を直接測定して複合起因を総括した条件検証が有効である。

(7) 片面加熱の受け台側は包装材料の熱容量によって挙動が異なることが分かり、溶着面温度と受け台の温度挙動の個々の検証が必要であることが分かった。

(8) ヒートシールを確実にこなすには

①包装材料の加熱特性の定量化

②包装材料の性能を考慮した機械の速度と均一加熱装置の供給

③ユーザーの包装材料の特性を考慮した装置の運転条件の設定と最終製品の仕上がりが品質規格設定の遂行、この3つの条件を満たす必要がある。

Table 5-1 にその条件を示した。

5.4 結論

慣習と経験的に行われてきた従来のヒートシールの検討事項を溶着面温度測定法 (MTMS) を適用し種々の解析を試みた結果、各項目に確実な検討ができ、熱溶着 (ヒートシール) の信頼性の向上方法を見出した。

5.5 参考文献

- 1) JIS : Z 0238 (1998)
- 2) ASTM Designation : F88-00 (2000)
- 3) 菱沼 一夫、第 12 回日本包装学会年次大会要旨集、p.84~、(2003)
- 4) 菱沼 一夫、第 13 回日本包装学会年次大会要旨集、p.92~、(2004)
- 5) 菱沼 一夫、アメリカ包装界の最近の動向 「包装技術」、第 41 巻、第 2 号、p. 41 (2003)
- 6) 大江 修造、“物性推算法”、データブック出版社、p. 61 (2002)
- 7) 菱沼 一夫、特許公開 2003-1708 (2003)

**Table5-1 Achievement assignment of the heat-sealing
Function of three fields**

Classification	Individual element
(1) Packing material	1) Melting Temperature 2) Heat conduction speed 3) Heat denaturation (Over Heating)
	4) (As a result) Heat-sealing strength [1]
(2) Packaging machinery	1) Operation speed (The heat conduction speed of packaging material was balanced) 2) Heating Temperature (Below the heat denaturation temperature of packaging material) 3) Uniform forcing (A uniform heating sake)
	4) (As a result) Heat-sealing strength [2]
(3) Operation conditions	1) Production plan (It carried out on the basis of the heat characteristic of packaging material) 2) Operation speed (It united with the guarantee speed of a packing machine) 3) A setup of a management numerical value →It selection-sets up in the characteristic of packing material, and the ability range of a packing machine
	4) Pinch control of the filling thing to a seal surface • Step 1: Positive achievement of a basic element checks first • Step 2: The kind of cause of generating with a faulty seal, Grasp of quantity • Step 3: Examination of a generation source extermination measure (Apply of “Liquid Dropping Control”, “Powder Dancing Control”)

第6章 加熱の最適化条件の検討（1）

剥れシール（Peel Seal）と破れシール（Tear Seal）の識別法の検討と 破袋の発生のプロセスの考察

6. 1 緒言

ヒートシールの溶着状態は加熱温度によって変化し、以下の2通りがある。

- (1) ヒートシーラントの接触面のみが界面接着する剥れシール（Peel Seal）
- (2) ヒートシーラントが完全に溶融した場合とラミネーション材においては接着界面の変性を伴う破れシール（Tear Seal）

溶着状態はヒートシール強さと熱溶着（ヒートシール）（これ以降はヒートシールと称す）の信頼性に強く関係している。

しかし、従来の引張方式のヒートシールの検査法では Peel Seal と Tear Seal の適格な識別は困難であった。従来法で厳密に工程管理しても、流通において破袋やピンホールが発生して、ヒートシールの信頼性に課題がある。（Photo 6-1 参照）

本章では、溶着面温度をパラメータにした¹⁾ Tear Seal の検査法を検討すると共に、Tear Seal 状態のヒートシールが破袋等のヒートシールトラブル結びつく因果関係を検討する。

6. 2 理論

6. 2. 1 ヒートシールの成立と要件

ヒートシールはプラスチックの熱可塑性を利用している。熱可塑性プラスチックは溶融温度以上に加熱されると軟化を経て溶融状態になる。このような状態で接触面が3～5 μm の領域²⁾（第8章参照）で密着すると熱変形した分子間に双方の分子が“食い込み”、冷却されると摩擦力によって融着が成立する。加熱が溶融温度をはるかに超えるとヒートシーラントは液状化して、圧着圧によって流動する。ヒートシーラントが流動化し、かつ圧着圧が高いと液状化したヒートシーラント全体が“混合”状態となる。

加熱と非加熱のライン上（ヒートシール線）にはみ出して“ポリ玉”を形成する。

この状態のヒートシール強さはヒートシール時の圧力により溶融した樹脂がはみ出した“ポリ玉”がヒートシール線に付着するので、マクロにみると、ヒートシール強さは引張



Photo 6-1 Generating accident the tear example of packaged goods, even if it is rightly controlled by conventional method.

試験上、材料固有の引張強さより大きくなる。この図解を Fig. 6-1 に示した。“ポリ玉”の様子顕微鏡写真を Photo 6-2 に示した。ヒートシールは軟化から流動化する境界に加熱することが最適であるが、従来はヒートシーラントの加熱温度を測定する方法がなかったので適切な温度管理が難しかった³⁾

6. 2. 2 破袋、ピンホールの発生のメカニズムの考察

ヒートシール部位の破袋やピンホールの不具合品の発生要因を精密に調べてみると、ヒートシール線の

- ①ヒートシール線の“波状”の発生、②袋のヒートシール線に発生する“タック”
 - ③破壊応力の附加
- に分類できる。

フィルム表面に波うちが発生してできるタックの状況を Photo6-3 に示した。

破袋・ピンホールの発生はこの①と②の二つの要因と③の外部応力の付加の複合起因で発生すると推定される。破袋は外部から加わる力、振動、衝撃によって内圧の上昇や内容物の流動によってヒートシール線に直角に働く引き裂き応力の発生によって起こる。

外力が加わった場合の引き裂き応力の発生メカニズムを Fig. 6-2 に示した。

それぞれの原因要素を Table6-1 のように整頓することができる。本報告では主に①の“波状”の発生要素の検討を行った。

6. 2. 3 ヒートシール強さ発現要素の検討

ヒートシール強さはこれらの要素の複合で成り立っており、各要素を適確に制御することにより、確実なヒートシールが達成できる。

このためには、包装材料の設計段階からの正しい論理展開が必要であるが、本報告では、既に設計された包装材料をサンプルにして、ヒートシール強さを構成している項目の因果関係を“複合起因解析”⁴⁾を適用して、原因要素（制御要素）と結果要素（現象要素）に分類した。ヒートシール強さの発現に関係する要素を Table6-2 に列挙した。

原因要素（制御要素）を選別すると（Table 6-2 中には太字で示した）

- ・加熱温度（溶着面温度）、
- ・ヒートシール方法、
- ・オーバーヒート、
- ・“ポリ玉”、
- ・“タック”、
- ・不均一加圧、
- ・不均一加熱

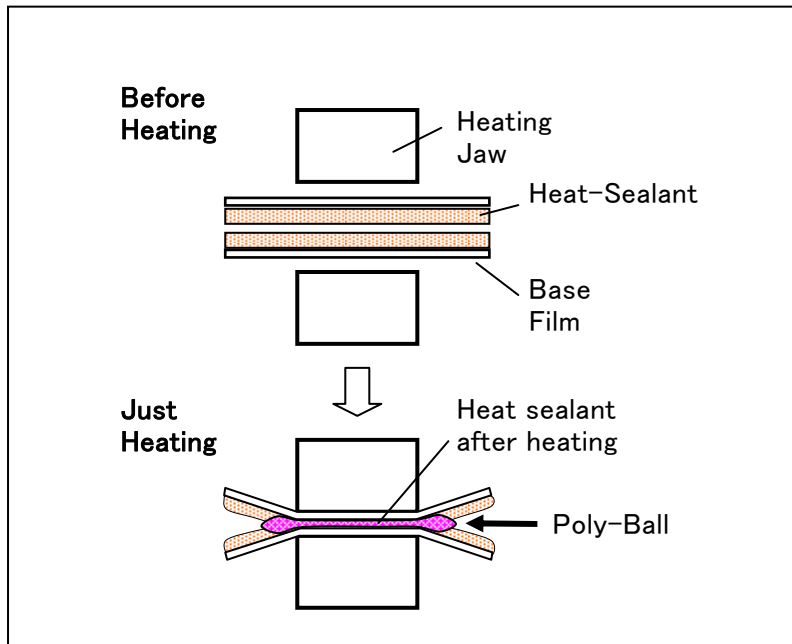


Figure 6-1 Generation of the poly ball

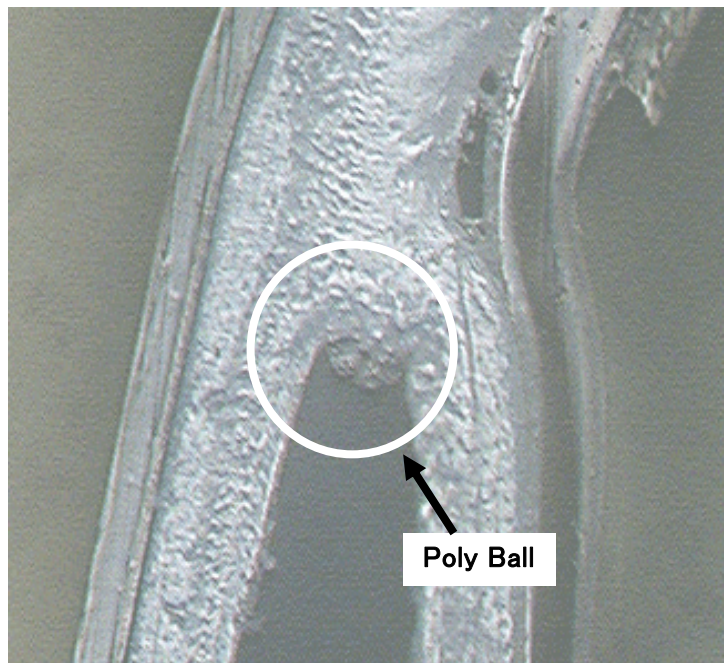


Photo 6-2 Photomicrography of the Poly Ball



Photo 6-3 Tuck which arose in packaged goods

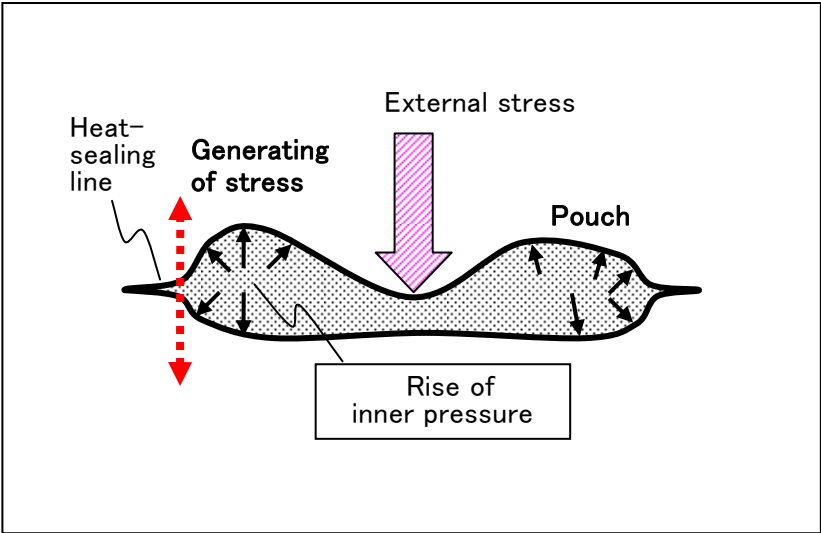


Figure 6-2 Mechanism of the generation of peeling stress of heat sealing

Table 6-1 Generating factor of the pinhole and breaking of the bag

1. Generating factor of "corrugation" of the seal line

- (1) "Poly-Ball"/ High Pressing
- (2) Over heat
- (3) Shrink

2. Generating factor of "Tuck"

- (1) Forming from the plane body to the solid
- (2) The tension of the filling weight
- (3) The grip force is insufficient
- (4) The grip refuses to be located
- (5) The filling rate
- (6) The fluidity of the filling products
- (7) The form shape of pouch

3. Generating factor of the breaking stress of the bag

- (1) Direct external force
- (2) The vibration
- (3) The impact

Table 6-2 Element related to heat-sealing strength for excellent heat sealing management

Kind of Common Elements:

- Heating (Melting Surface Temperature)

- Heat Capacity (Heating Time)

Material Characteristic:

- Kind of material, [Reactivity, Non-reactivity, Co-polymer, Mixed Material]

- Polymerization [Non-polymerization Rate]

- Heat Denaturizing [Radical Characteristic]

- Peel Seal Temperature

- Tear Seal Temperature

-Rigidity [Pace of Expansion, Thickness]

Material Composition:

-Thickness

- Lamination Strength [The Difference of The Growth of Surface Material and Heat-sealant]

Heating Operation:

- Heat-sealing Method

- Overheat

- The poly “Ball”

- Tuck

- Unsuitable Pressurization

[Fault Pressurization, Insufficient Pressurization]

- Uneven Heating

[Pressurization Spots, Temperature Spots]

の7点となるが“ポリ玉”と“タック”は直接的な制御対象ではなく付随的な発生現象である。これらの項目の適格な制御がヒートシールの信頼性の保証になる。

6. 2. 4 従来のヒートシール検査法の性能の考察

現在（世界的に）普及しているヒートシールの評価法には J I S 法⁵⁾、A S T M 法⁶⁾がある。これらの方法はヒートシールされたサンプルをヒートシール線に直角に 10~25.4 mm（1 インチ）の巾に切断する。ヒートシール線を中心にして 1 0 0 mm 以上の線上を銜えてヒートシール線に直角の引張を行う。そして、ヒートシール線の剥離、破れが発生するときの最大引張値を以ってヒートシール強さとしている。ヒートシール線にヒートシーラントがはみ出して、“ポリ玉”が形成されて“強化”されると引張強さは包装材料の伸び応力値より大きくなるため、引張強さは伸び応力を測定することになる。²⁾

従来法は応力の付加距離をヒートシール線を中心にして 1 0 0 mm 以上として、ヒートシール線に直角に応力を与える方法である。すなわちサンプルの切断巾の平均の剥れ力や破れ力を測定するように規定している。マクロな（平均値的な）ヒートシール線の強さの測定となり、ピンホール発生や破れの起点になる微細な“ポリ玉”の影響が検知しにくい特徴がある。筆者の実験で、5 mm の巾の引張試験でも 15mm 巾と同様な結果が確認されている。⁷⁾

この図解を Fig. 6-3 に示した。引張試験はこの図中の左側図の(1)から(4)の方向で行われる。右側図に示した引張応力のパターンに各引張線に相当するポイントを示した。引張の過程で“波状”の頂点には引張応力が集中する。

引張試験で 4 0 (N/15mm) の性能を示す材料の場合でも、頂点の巾が 0. 5 mm とすると $[4 0 / (1 5 / 0 . 5)] = 1 . 3 \text{ N}$ となり、測定の全体から中から、ピンホールの発生起点になるこの点を見出すのは難しい。これらの状況からピンホールの原因を診断する新規な検査法の開発が望まれている。

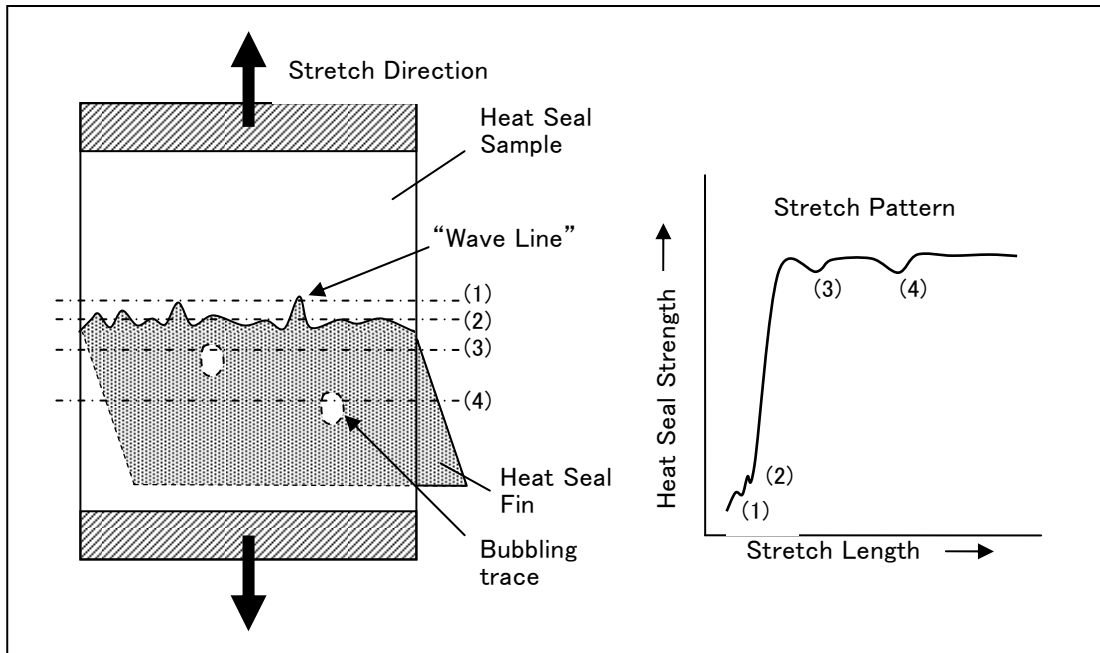


Figure 6-3 Description in which the heat sealing strength greatly comes out even in Tear Seal

6. 2. 5 破れシールの検出法の検討

6. 2. 5. 1 「角度法」の考案

ヒートシールの破れ、ピンホールの発生要因は **Table6-1** に示しが、実際の破れ、ピンホールの発生は“波状”、“タック”、“応力”の3要素が複合的に関係していて、単位長さ当たりの力の関係が

材料の耐力<集中応力

の条件になると破損が発生する。

破れ、ピンホールの発生の防御方策としては少なくとも3要素の内の1つの支配的要素の定量的な発現防御が必要である。

本研究では3要素の内の加熱の操作によって防御が可能な過加熱で発生する“波状”のヒートシール線の検出法に着目した。破袋やピンホールの発生は、数mm以下の微細な部位に外部応力が集中負荷されて発生している知見から、ラボにおいて同様なシミュレーションを行うことができる方法を検討した。

従来のヒートシール線(0°)に30~45°の角度を付けた加熱サンプルを作り、ヒートシール線に鋭角に応力をかけることによって、ヒートシール線の微細部位に集中応力が架かるような引張試験方法を考案した。角度は45°以上の方がより検出感度が上がることが分かったが、試験サンプルの作成に発熱温度のムラのない特別に長いヒートバーが必要になるので実用性を考慮して45°を選んだ。本試験法を **Fig. 6-4** に示した。筆者は本試験法を「角度法」と名付けた。

6. 2. 5. 2 「角度法」で得られる情報

「角度法」では試験のジョー間の距離は **Fig. 6-4(b)** に示したとおりを30mm以下とし、引張試験結果に及ぼす包装材料の伸びの影響を極小化するようにした。(第14章: **Fig. 14-3** に実測例を示した) Peel Seal (剥れシール) 加熱のサンプルを「角度法」によって引張試験を行うと、点から線の剥離が起こる。引張応力で三角形に剥離するので、引張強さは直線的に上昇して、15mm巾の引張に到達した以降は一定の剥れ強さを示すことになる。一定になった引張強さは同一温度で加熱した J I S 法の15mm巾の試験結果と一致する。

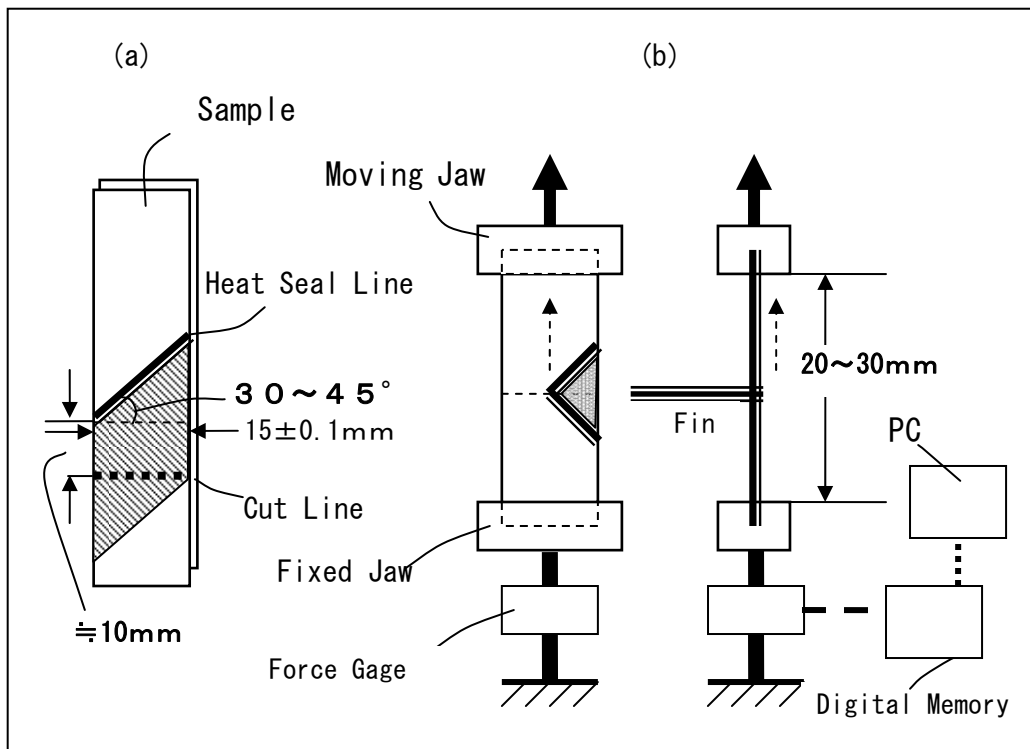


Figure 6-4 Principle of the Angle Method

他方、Tear Seal（破れシール）の加熱サンプルの「角度法」引張試験では45°の角度でヒートシール線に引張応力が加わるので、ヒートシール線上に“ポリ玉”や破れシール状態が存在すると、破れあるいは、複合材の場合にはデラミネーションが起こる。多くの場合は、破断が起きたり、短冊状にデラミ剥離を起こして引張応力は低下すると推定される。

6. 3 実験

6. 3. 1 「角度法」のサンプル作成と引張試験

まず、試験サンプルの熱特性を溶着面温度測定法（MTMS）²⁾を用いて把握する。

熱特性を参照して、2～10℃間隔での加熱サンプルを作成し、JIS法でのヒートシール強さを測定する。（引張速度のみ200mm/分を使用） 「角度法」の角度法の加熱サンプルはPeel Sealの完了領域の直前から高温側の温度レンジで、大凡25mm巾にカットしたサンプルを大凡45°の角度を付けて、2～10℃間隔で作成する。ヒートシーラントの側面へのはみ出しの影響を除くために、この両端の5mm程度をカットし、15mmの引張サンプルを作る。本実験のサンプルは市販されているレトルトパウチを使用した。圧着圧は約0.2MPaを適用した。

6. 3. 2 「角度法」の引張試験の方法

作成した角度サンプルを200mm/分の速度で引張試験を行った。この時の引張試験の応力と引張距離の双方のデータをパソコンに全保存する。

この試験中のヒートシール線を目視し、破れの発生点の応力値を記録する。

破れ点はPeel Sealの過程の中で発生するので破れ点の応力は破れの発生強さとは定義できない。発生の有無の検知の定性に利用する。しかし加熱温度が高温になると引張開始と共に破れが発生する。これは低応力の域での発生で、破れの集中応力値に近似している。この試験では破れの発生の有無の検知が重要である。

6. 3. 3 引張試験データの統合

JIS法の引張強さデータと「角度法」の引張強さデータを溶着面温度をパラメータに

した統合グラフを作成して比較検討する。

6. 4 結果

6. 4. 1 引張試験データ

Fig. 6-5に「角度法」とJ I Sの引張試験の応答の記録の Peel seal と Tear seal の境界温度と Peel と Tear の代表例を統合して示した。JIS法の検査結果は、同様なパターンを示し違いは見出せない。他方「角度法」では Peel Seal の上限温度付近までの最終強さが同一加熱温度のJ I S法の値に漸近（グラフでは 147, 150℃）しているが、Tear Sealの加熱領域（156℃～）は何れも低い応力点での破れが発生している。**Fig. 6-5**では 158℃のみを示してある。

Fig. 6-6にサンプルの熱特性⁷⁾（第4章で示した方法で測定・演算）と共にJ I S法と「角度法」の引張強さの全ての計測データを溶着面温度をパラメータにしてプロットした。熱変性は溶着面温度応答の1次微分値（d1）と2次微分値（d2）から演算したものを示し、引張強さと包装材料の融着状態（熱変性）との関係の評価をする参考に付した。

「角度法」の引張試験では加熱が154℃を超えると引張強さが顕著に低下して、明らかな相違を示している。「角度法」における引張強さの低い領域では破れ・ピンホールの発生する確率が高いことを示している。

Fig. 6-6の「角度法」のデータでは温度が170℃あたりになると破れの発生の引張強さが高めになっている。供試サンプルはヒートシーラントが70μmと非常に厚く、高温域でヒートシーラントのはみ出しがヒートシール線に一樣に現れたものと推定される。

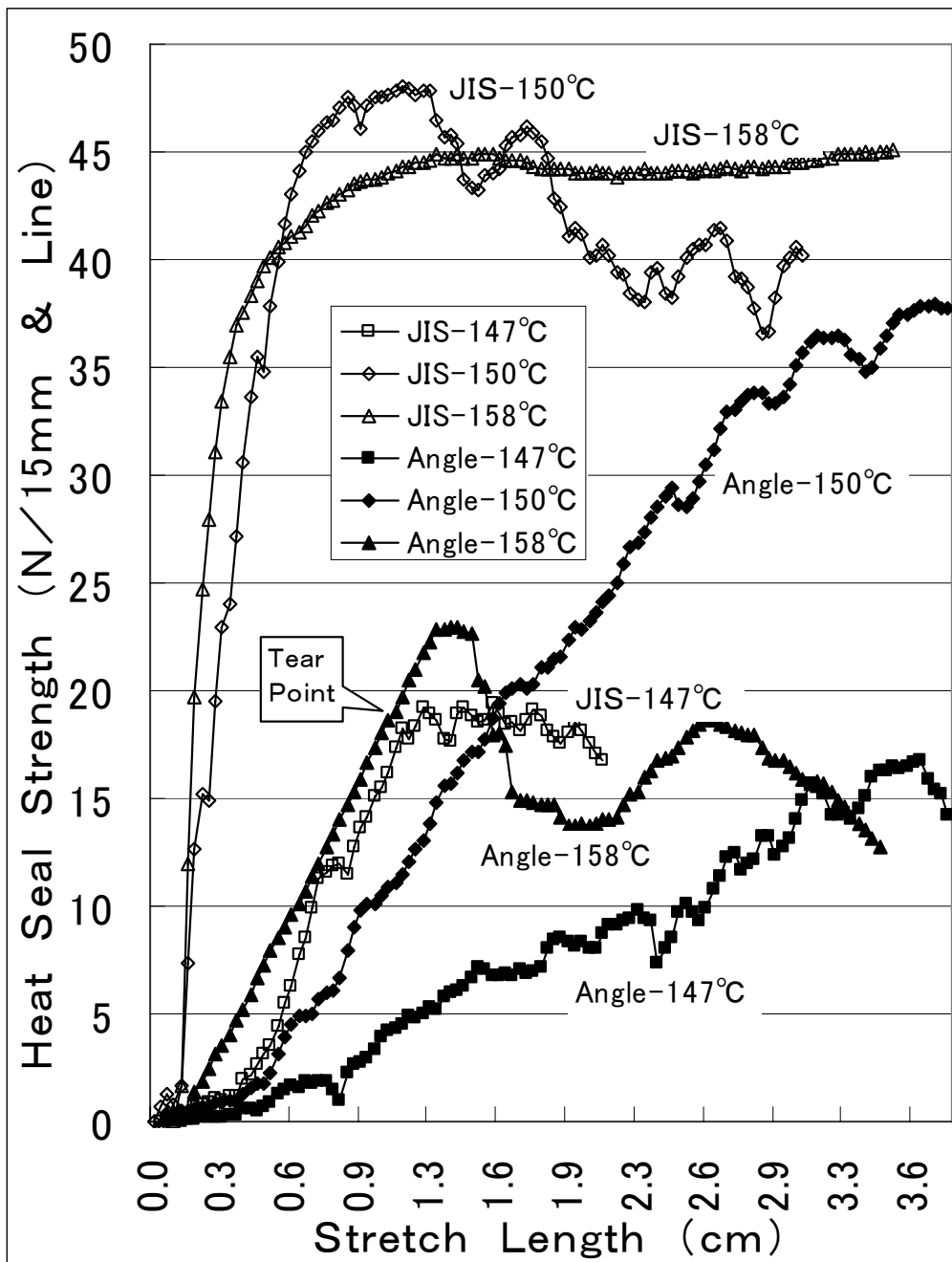


Figure 6-5 Representative data of the stretch pattern of Peel Seal and Tear Seal

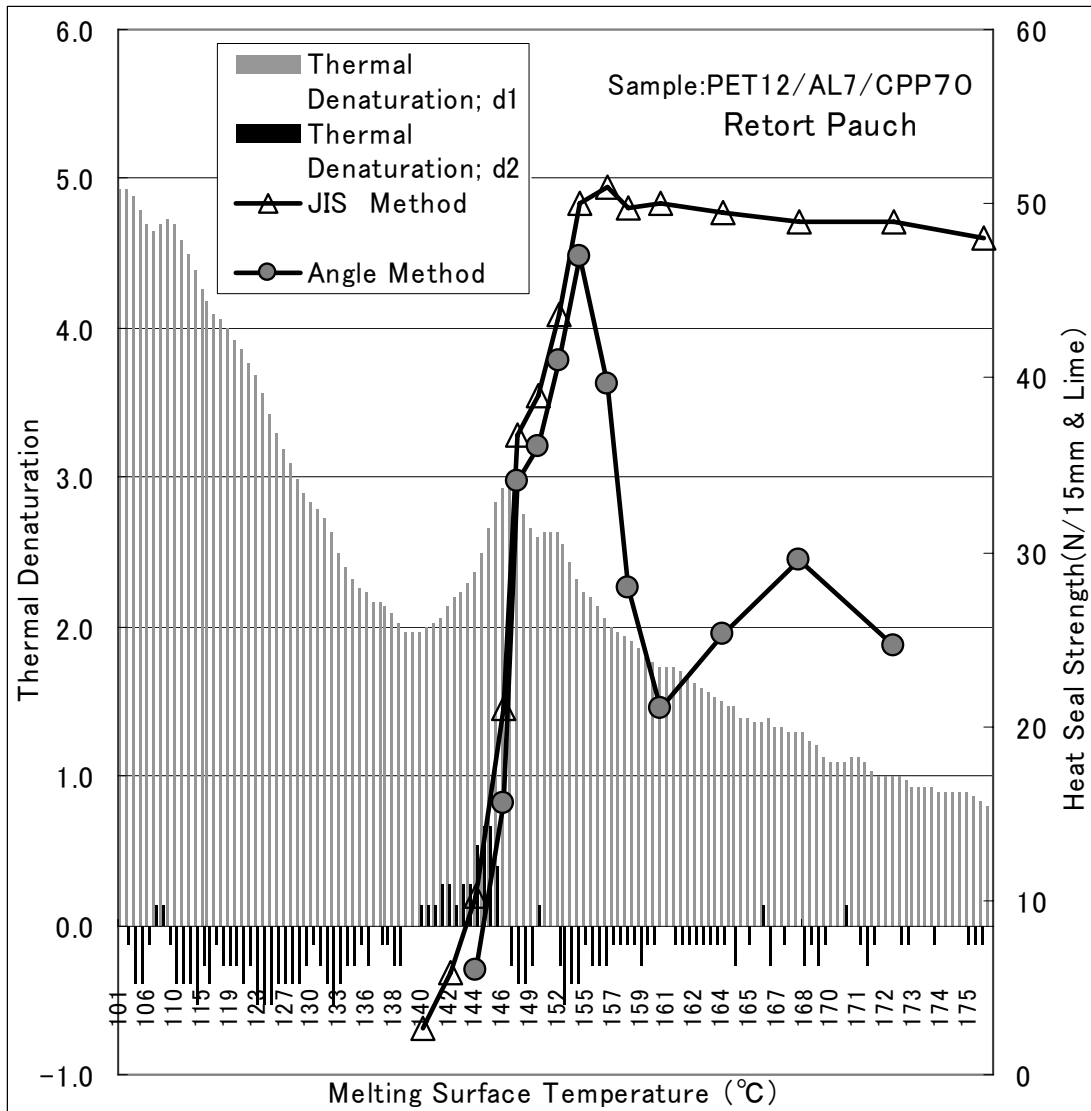


Figure 6-6 Discrimination validation result of Peel Seal and Tear Seal by "The Angle Method"

6. 5 考察

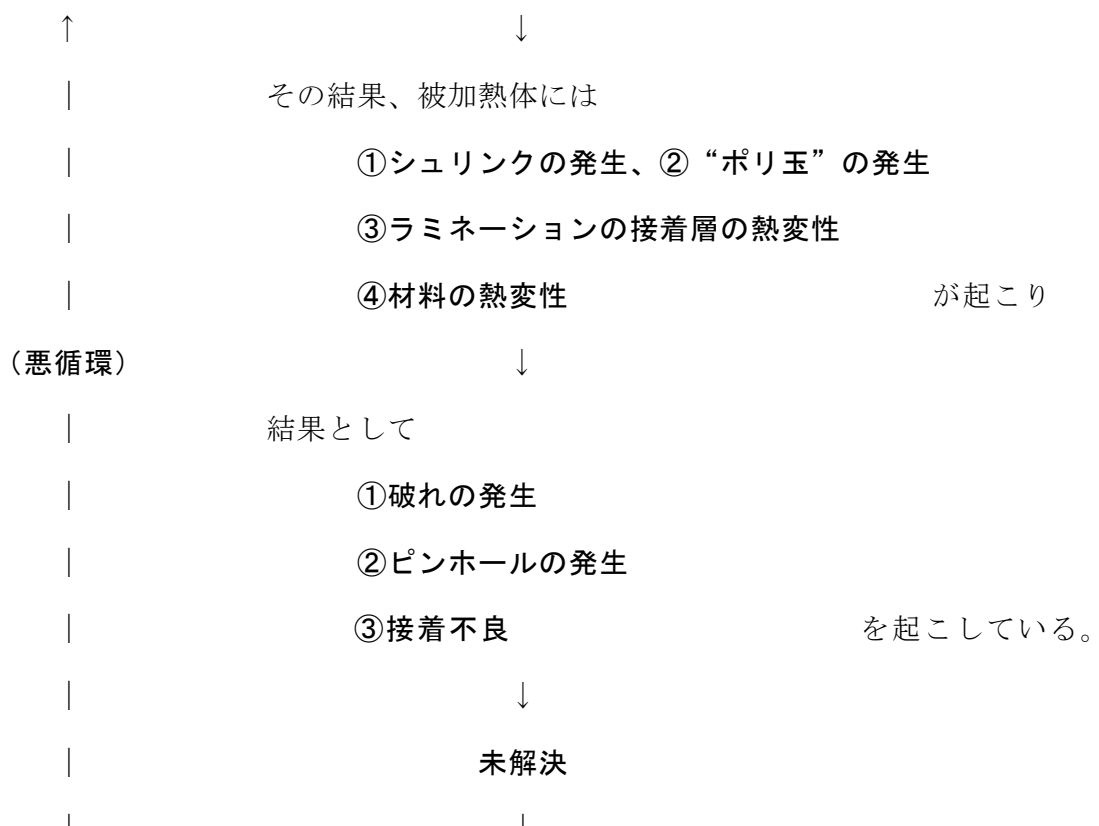
6. 5. 1 「角度法」の性能の評価と破袋の発生のプロセスの考察

(1) 引張試験の応力線を直角から斜めに変更した「角度法」試験法では Peel Seal の上限温度を境にして破れ応力に大きな変化を示した。この方法は破れシール (Tear seal) の検出法として有効であることが分かった。

(2) 従来は常態的に Tear seal の領域が適用されていると推定されるので、角度法の実験結果によって、市場でまれに発生している破袋の原因が究明できた。

(3) 「角度法」の知見を参考に代表的な不具合である破袋の発生のプロセスを推定すると

◆ <<不具合が発生>> → **【①加熱の高温化、②高圧着化】** を常套手段と実施



このような不具合の循環プロセスが成り立って（悪循環）していることが推定される。

角度法はこの不具合の循環プロセスの原因要素である過加熱と高圧着の有無の検知の改善に寄与できると考えられる。この関係を **Table6-3** にも示した。

「角度法」は不具合発生プロセスの原因究明の検知法として有効である。

Table6-3 Generation of "Failure" with the conventional improvement correspondence

- High-temperature of the heating
- High-pressure pressing
- ↓
- Generation of the shrink
- Generation of the poly ball
- Thermal denaturizing of adhesion layer
 - The delaminating generation
- Thermal degradation of constituent material
- ↓
- Generation of the breaking of the bag.
- Generation of the pinhole.
- Adhesive-Failure generation.

6. 6 結論

(1) 破れ、ピンホールの発生の3つの複合起因要素；

- 1) ヒートシール線の“波状”
- 2) 製袋品に発生する“タック”
- 3) 集中応力の発生

の主要項目の1)の検出法の開発に成功できた。

(2) 従来の評価法では困難であったオーバーヒートによって発生している潜在的な破れ・ピンホール“不具合”の発見法を完成できた。

(3) ピールシールゾーンの活用によるヒートシールの信頼性向上手法に発展できる。

6. 7 参考文献

- 1) 菱沼 一夫, ヒートシールの数量化管理の研究、「日本包装学会誌」, 第14巻第2号
119頁(2005)
- 2) 菱沼 一夫, 第13回日本包装学会年次大会要旨集, p.92~、(2004)
- 3) G. L. Hoh 等, U. S. Patent, 4, 346, 196, Aug. 24, 1982
- 4) 菱沼技術士事務所 ホームページ、<http://www.e-hishi.com/qamm.html>
- 5) JIS : Z 0238 (1998)
- 6) ASTM Designation : F88-00 (2000)
- 7) 菱沼 一夫, ヒートシールの数量化管理の研究、「日本包装学会誌」, 第14巻第3号
178頁(2005)

第7章 加熱の最適化条件の検討（2）

熱溶着（ヒートシール）の溶着面における剥離エネルギーの計測と評価法の検討

7.1 緒言

プラスチックの包装資材のほとんどの接着には熱溶着（ヒートシール）が使われる。熱溶着（ヒートシール）には熱可塑性の単一素材又は複数の素材にブロック共重合体を用いて貼り合わせたプラスチックのフィルムやシートが使用される。

熱溶着（ヒートシール）は熱溶着層（ヒートシーラント）を熔融温度以上に加熱／圧着後に冷却することによって成立する。ヒートシーラントの表層からの発熱体の直接接触加熱や電磁波や超音波によるフィルム内部の界面の発熱による加熱方法がある。

現行の代表的なヒートシール方法と特徴を **Table 7-1** に示した。最も多く使用されている一対の発熱ブロックで被加熱体を挟み込んで加熱するヒートジョー方式のメカニズムを **Fig. 7-1** に示した。両面が同一温度の加熱の場合には、加熱ブロックの圧着によって、被加熱材は表面から温度が上昇して接触界面の溶着層に伝熱加熱される。**Fig. 7-1** には圧着開始 ($t=0$) から ($t=1$), ($t=2$) の材料内部の温度分布を図解したものを示している。両面加熱の場合は溶着界面の温度応答は、材料の初期温度の影響を少し受けて、材料厚さと熱容量によって決定される。片面加熱の場合は一方からの加熱流のみに依存するので溶着界面の温度応答は、主に材料厚さと熱容量、更に受け台の温度によって決定される。

繰り返しの加熱操作によって受け台の温度は変動するので加熱流に影響して、片面加熱の溶着界面の温度制御は両面加熱より難しい。ヒートシールは加熱温度によって溶着状態は大別して以下の2通りがある。

- (1) ヒートシーラントの溶着面の界面のみで接着する剥がれシール (Peel seal)
- (2) ヒートシーラントが高温加熱により完全に熔融接着して溶着面のエッジが破断する破れシール (Tear seal)

熱溶着（ヒートシール）操作によって発生する Peel seal と Tear seal の部位の説明と引張試験の剥がれと破れの状態²⁾を **Fig. 7-2** に示した。2つの溶着状態は加熱温度で変化するので、加熱温度はヒートシール完成と信頼性に強く関係している。

Table 7-1 Kind and characteristics of heat seal technology

Method	Heating Surface		Principle of Heating	Characteristics	Use
	Double	Single			
(1)Heat Bar	○	○	Conduction from Front Surface	-Big Capacity of Heating (Double) -Influence of Cradle Temperature (Single)	-Lamination Film -Single Layer Film
(2)Impulse	(○)	○	Conduction from Front Surface	-Small Capacity of Heating -Heat Seal Fin is Small -Easy Use, Low Cost	-Single Layer Film -Lamination Film (Thin)
(3)Hot Air	○	○	Blow of Hot Air	-Direct Heating for Melting Surface -Influence is Small of Heat Conductance of Base Material	-Paper Carton -Tube
(4)Ultra Sonic		○	Energy Loss Spread Division	-Influence is Small of Heat Conductance of Base Material -Inappropriate Character for Metal Material	-Single Layer Film (Heavy)
(5)Induction		○	Joule Heat of Conduction Material	-Need of Metal Material -Heating Only Circumference	-Metal Multi-lyre Film -Heating Only Circumference
(6)Electric Field	○	(○)	Flush of Electric Loss	-Influence is Large of Water Content of Base Material	-Paper multi Layer Sheet
(7)Hot Wire		○	Conduction from Front Surface by Heating wire	-Small Capacity of Heating Cutting with Sealing	-Single Layer Film (Thin)

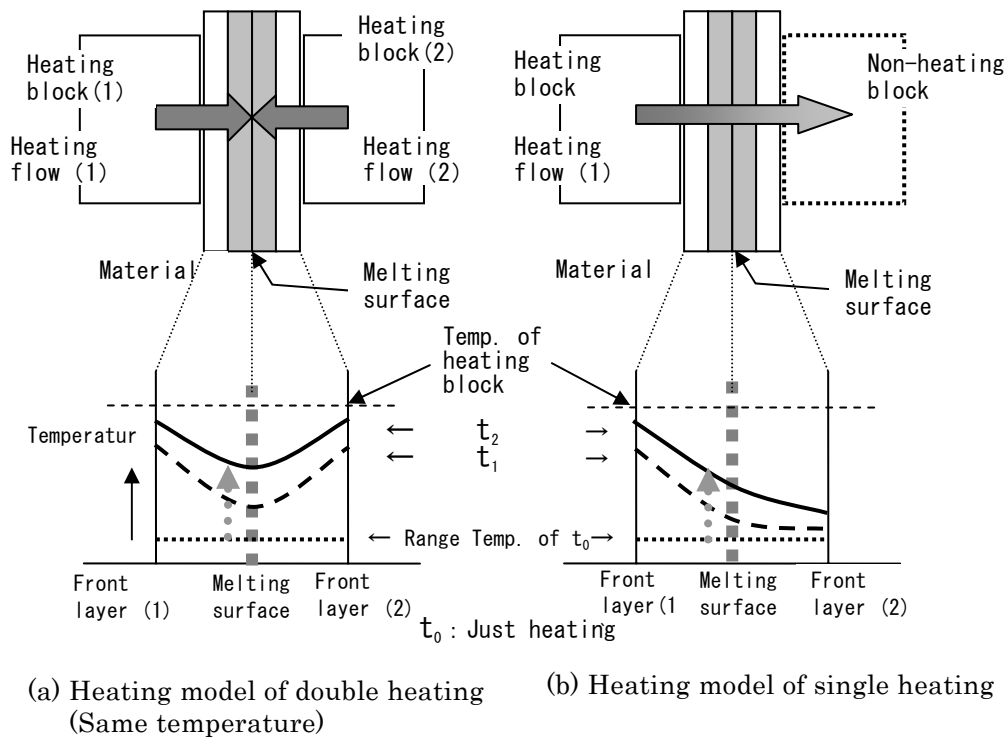


Figure 7-1 Heating flow model of heating block with heat sealing action

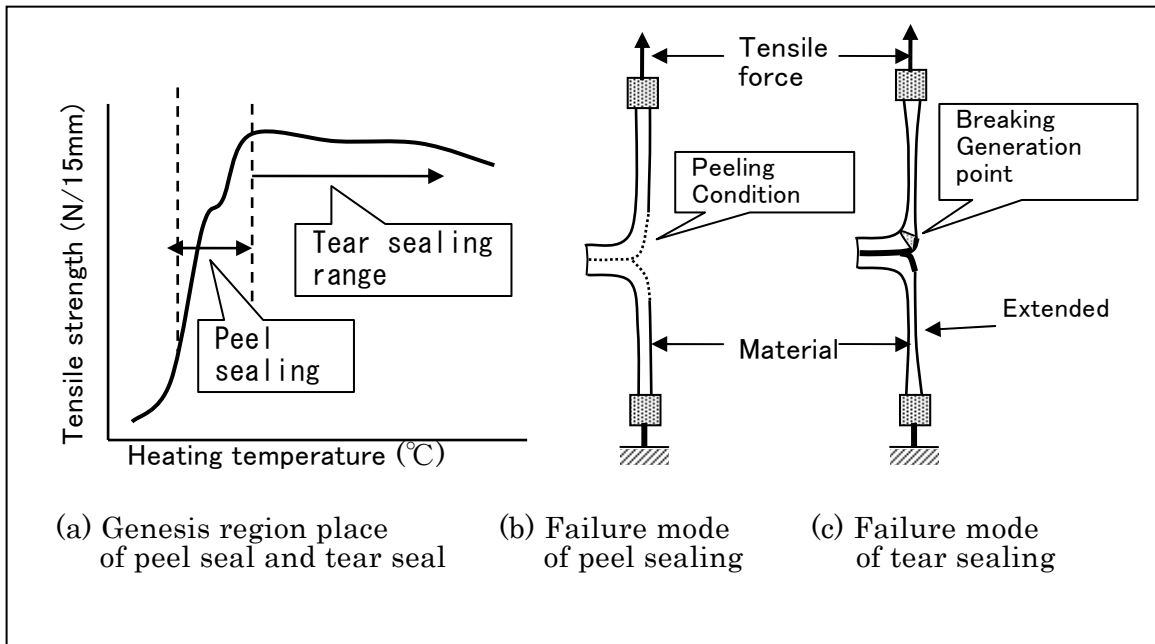


Figure 7-2 Description of the failure modes ²⁾ with the genesis region place of peel seal and tear seal



Photo 7-1 Heat sealing Fin of the flexible packaging

熱溶着のヒートシール強さは引張試験によって評価されてきている。従来は引張試験の最大値を以って接着（溶着）の状態の評価を行っている。^{1),2)} この評価法は破断点までの破断エネルギーの考え方に基づいている。³⁾

熱溶着（ヒートシール）では、接着面が数mmから10数mmまでの巾のヒートシール面（Fin）を作っている。（Photo 7-1 参照）

プラスチックのフィルムや薄手のシートでの場合には、引き裂き応力は溶着面全体にかかるのではなく応力ライン線上に作用する。実際では、エッジで破断する破れシール（Tear seal）の加熱方法が“常態的”に適用されているので、フィンの中は接着に関しては利用されていない。従来、熱溶着（ヒートシール）に関連する不具合が発生すると、包装材料の厚さや強度の強い材料を用いた対策が採られてきた。

しかし、厚さを増加させると、材料の熱容量が増加するので、熱溶着（ヒートシール）の加熱時間を変更前より長く（運転速度を低下）するか、加熱温度の高温化を必要とする。熱溶着（ヒートシール）の利用者の多くは、生産性を落としたくないので、加熱温度の高温化を選択している。加熱温度の高温化は以前より材料への熱劣化を大きくするので材料の変更によって不具合の悪循環を起こしてしまっていることが多い。

本研究では、熱溶着部位の熱劣化の少ない Peel seal 領域の剥がれ現象における剥離エネルギーを利用する新規な方法によって、プラスチック材料の適正な熱溶着（ヒートシール）性能を発揮させる改善方法について論ずる。

本研究で得られた結果から、Peel seal の採用によって、医薬、医療包装品分野で要求されている開封の際に発生する接着面の微細な包装材料の破片の発生が防御でき、血管中への異物の混入を避けることが期待できる。

7. 2 理論

7. 2. 1 熱溶着の評価と破断エネルギー

材料の強さを評価する方法として引張試験法が古くから使われている。この方法は破断の起こった時の引張強さを主な評価指標にしている。プラスチックの熱溶着（ヒートシール）の評価にもこの方法が準じて使われている。^{1),2)} 引張試験法は剛性の大きい材料の破断面や接着面に引張応力が均一にかかる場合の評価を主にしている。しかし、プ

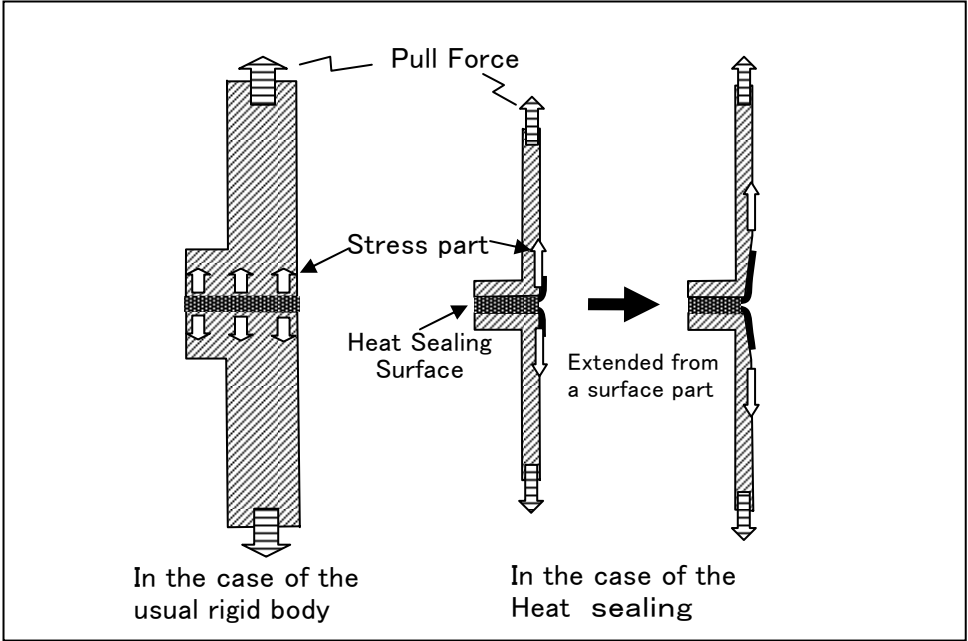


Figure 7-3 Stress which works to Fusing Surface

プラスチックシートのように柔らかく、薄い材料の剛性は小さい。従って、熱溶着面全体に均一に引張応力はかからず、溶着のエッジの《ヒートシール線》に応力が集中する。⁴⁾

(第8章参照) 引張応力によってヒートシール線には破れ又は、剥れが生じる。この様子を Fig. 7-3 に示した。

従来の引張試験法では計測値の最大値を以って溶着強さの評価をしているので、Peel seal より Tear seal の方が引張強さは高い。しかし包装製品の製造工程中や物流中で発生する衝撃や荷重で、Tear seal の加熱領域の包装袋のヒートシール線に破れやピンホールが発生して、食品包装・医薬品包装や高度の酸素遮断を要求する精密機械部品の包装において、不具合の原因になっている。

7. 2. 2 剥離エネルギー論の構築

プラスチックは長さが数十 μm の糸状の高分子が絡み合った状態になっている。相対したヒートシーラントが加熱によって軟化・半溶解した状態で加圧されると相対するヒートシーラントは双方に数 μm 程度の“食い込み”を起こす。

この状態で冷却されると食い込み部分に摩擦接着が起こり Peel seal の熱溶着が成立する。他方、融点 (T_m) 以上に加熱されて、完全な熔融状態で相対するヒートシーラントは“混合”状態となり、冷却されると糸状の高分子は絡み合う。一部は酸化を起こすラジカル現象で高分子鎖の破断を起こすような Tear seal に成る。2つの溶着状態の模式図を Fig. 7-4 に示した。

前者の熱接着状態は界面接着となり、ヒートシーラントの破断は起こらない。後者は双面のヒートシーラントは一体化して接着界面は存在しなくなる。溶着面に応力が作用すると各分子には不均一に応力がかかり、糸状の微小部位に応力が集中して部分破断を起こし、雪崩的にヒートシール線付近から破れると推定できる。15mm巾の引張強さ値の比較では

$$(\text{Peel seal 強さ}) \leq (\text{Tear seal 強さ})$$

となる。

一般的にエネルギーは運動エネルギーとポテンシャルエネルギーの総和で表されるので、ヒートシールの溶着面の持つポテンシャルエネルギーを(接着力×面積)と置き換えて考

えた。落下等によって発生する運動エネルギーは接着面の接着状態には関係ないので、溶着面の持つ接着性の評価を（接着力×面積）の値に着目し、時間の関数を外して検討した。小さい伸びや剥がれを伴う破断現象では、

単位巾当たりの破断のエネルギー $[St]$ は次式で表すことができる。

$$St = \sum_{L=0}^{Lt} k \cdot F_{(L)} \cdot \Delta l / w \quad (1)$$

St : 破断エネルギー (J)

$F_{(L)}$: 各引張距離点の引張強さ (N)

Δl : エネルギー演算の設定単位距離 (m)

(任意に設定)

Lt : 破断の発生時の引張距離 (m)

k : エネルギー演算距離の単位長さへ
変換係数

w : サンプル巾 (m)

実際には、引張試験の応答の立ち上がりは鋭いのでこの試験ではもっぱら強さ $[F_{(L)}]$ のみに着目している。破断が起こらない Peel seal では引張強さは上昇後、溶着巾の剥がれの間は、ほぼ一定値となる。同一式を使い、積分範囲を $L=0$ から剥がれ巾の L_n までの積分を行う。この演算を剥離エネルギー $[Sp]$ と定義すると次式で表すことができる。

$$Sp = \sum_{L=0}^{L_n} F_{(L)} \cdot \Delta l / w \quad (2)$$

$[Sp]$: 剥離エネルギー (J)

L_n : 剥がれ巾 (m)

ここで定義した $[St]$ と $[Sp]$ の関係を Fig. 7-5 に示した。

7. 2. 3 剥離エネルギーの活用の探求

既に論じてきたように、プラスチックの熱溶着（ヒートシール）における破断強さは剥

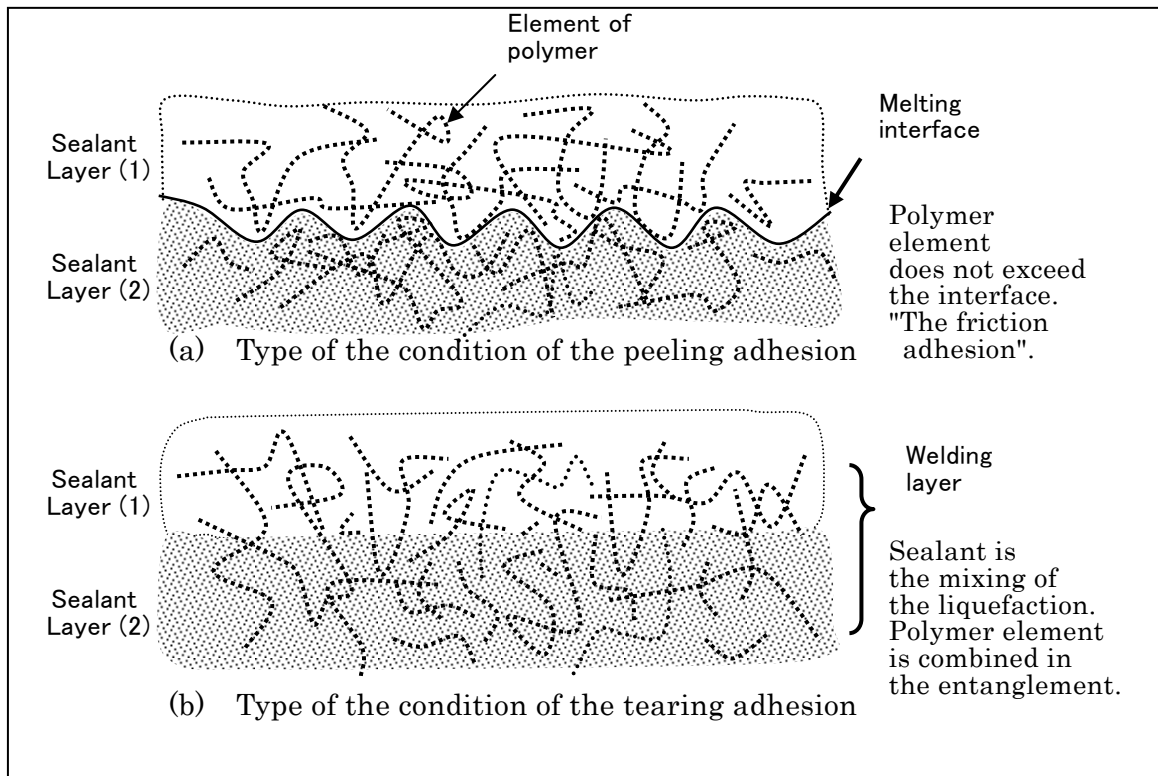


Figure 7-4 Schema of fusing condition of peel seal and tear seal

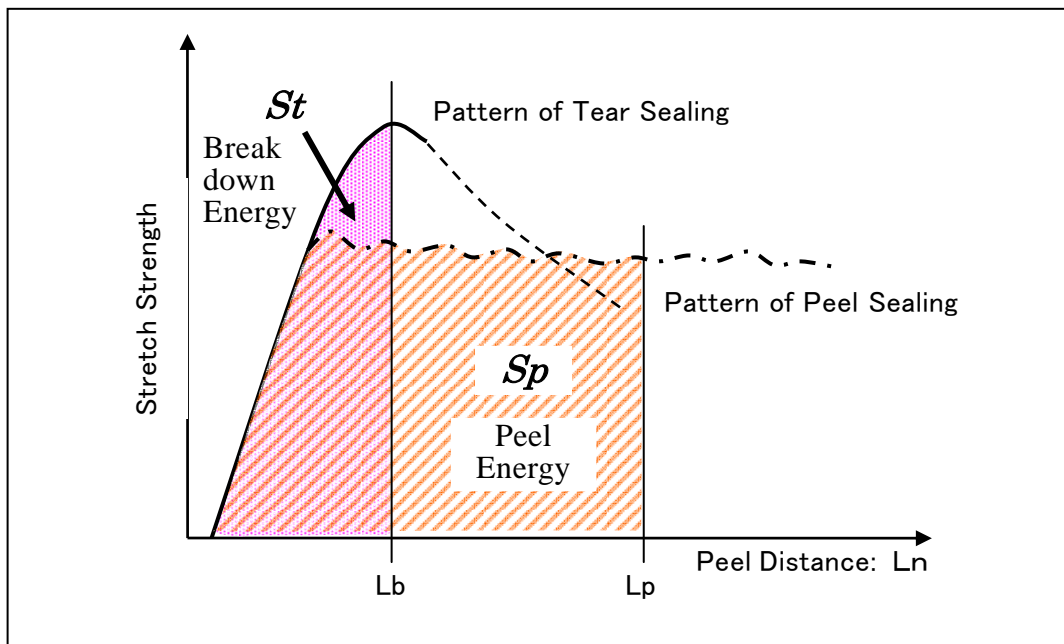


Figure 7-5 Definition description of Peel Energy and Break down Energy

離強さより大きい。剥がれが起こるように熱溶着して、外力により発生する剥離／破断エネルギーを剥離エネルギーに変換（吸収／消費）すれば、破れの発生を抑制することができる。すなわち“緩衝”作用で破断エネルギーを連続的に吸収し、破れ／ピンホールの発生を防御することができる。加熱温度に依存する剥がれシール強さと剥がれ距離（ヒートシール Fin 巾）の組み合わせで（ $Sp \geq St$ ）が見出せば、熱溶着（ヒートシール）の新規な信頼性向上と技法の開発が可能になる。

7. 3 実験

本実験では、市販商品に使われているアルミラミネーションの包装材料を使用した。

材料の構成は

PET(12 μ m) / PE(15 μ m) / AL(7 μ m) / PE(15 μ m) である。各素材間の接着にはブロック共重合の接着剤が使用されている。

7. 3. 1 引張試験片の作成

溶着面温度を直接加熱管理する溶着面温度測定法を適用して⁵⁾（第3章参照）Peel seal 帯から Tear seal 帯の熱溶着サンプルを2～10℃間隔で加熱作成した。

7. 3. 2 引張試験の方法

各溶着面温度で加熱したサンプルを巾15mm、引張試験機にかける初期間隔が30mmになるように切断し、JIS法¹⁾に準じた引張試験を行う。引張試験機の引張距離と引張強さの全データ（引張パターン）をA/D変換してパソコンに取り込む。引張試験の方法の構成図をFig. 7-6に示した。

引張速度は破断／剥離速度の影響を小さくするために50mm／分を用いた。

7. 3. 3 引張試験データの積分範囲と演算方法

引張試験データの引張距離と引張強さ値をデジタル変換して、全データをパソコンに“EXCEL”ファイルとして取り込む。

（引張距離）×1/2が剥離長さとなるので、全引張距離採取データに1/2を乗じた上

で、長さを (m) に置換する。全剥離長さは 10 mm 程度なので剥離距離の最小単位は 0.1 ~ 0.2 mm となるようデジタル変換し、破断エネルギーと剥離エネルギーの近似積分の精度を確保するように考慮した。

引張値は (N) に変換した。

剥がれのデジタル変換距離を 0.1 mm とすると、

$$Ln \text{ 点の仕事量は } (F_{(Ln)} \times 0.1 / 1000)$$

となる。

この場合には $k=1/1000$ となる。

加熱温度毎の“EXCEL”ファイルのデータの剥離開始点から破れの発生点（降伏点）又は 10 mm 以上の剥離エネルギー；(総計) × (演算巾) の仕事量；剥離エネルギーを計算した。途中の距離（例えば；5, 7.5, 10 mm）までの積算値を取り出して、グラフ上にプロットする。

7. 4 結果と考察

7. 4. 1 引張試験パターン

実験の引張試験パターンは加熱温度毎に得られる。代表例として、Peel seal ; 100, 105, 124°C と Tear seal ; 125, 135°C の引張試験パターンを Fig. 7-7 に示した。

Peel seal ゾーンの加熱サンプルでは、ヒートシール強さは立ち上がり後、剥がれ範囲で加熱温度に応じたほぼ一定の強さを維持している。他方 Tear seal は破れの発生と共にヒートシール強さは下降している。引張試験パターンの立ち上がりが垂直にならないのは、加熱線（ヒートシール線）は直線であるが非加熱面も加熱ブロックの輻射熱と被加熱体からの伝熱で弱い溶着が発生しているためである。Fig. 7-7 には計測した剥がれ距離の積分範囲（剥離エネルギーの計測範囲）5, 7.5, 10 mm と破断点に縦線を付記した。この縦線と引張試験パターンの交点までが剥離エネルギーの演算範囲となる。

7. 4. 2 破断エネルギー、剥離エネルギーの測定結果

全ての加熱温度の引張試験パターンの剥離エネルギーと破断エネルギーの演算処理結果を縦軸に仕事量 (J / 15mm)、横軸を加熱温度 (溶着面温度) をパラメータにした集計し

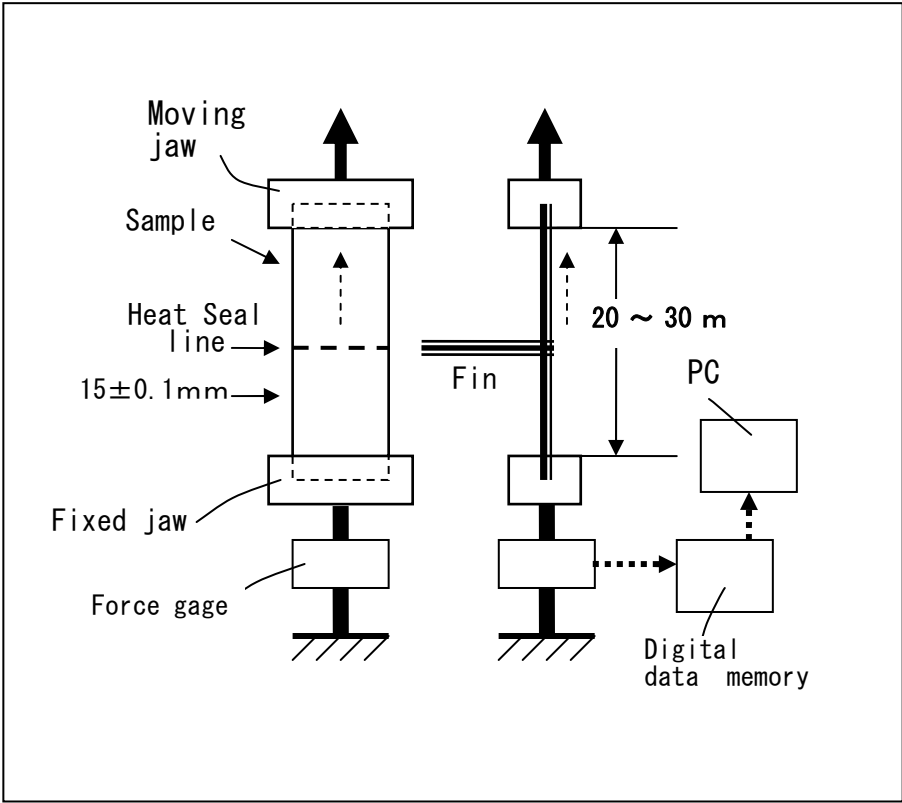


Figure 7-6 Tensile test method for the peel and tear energy measurement

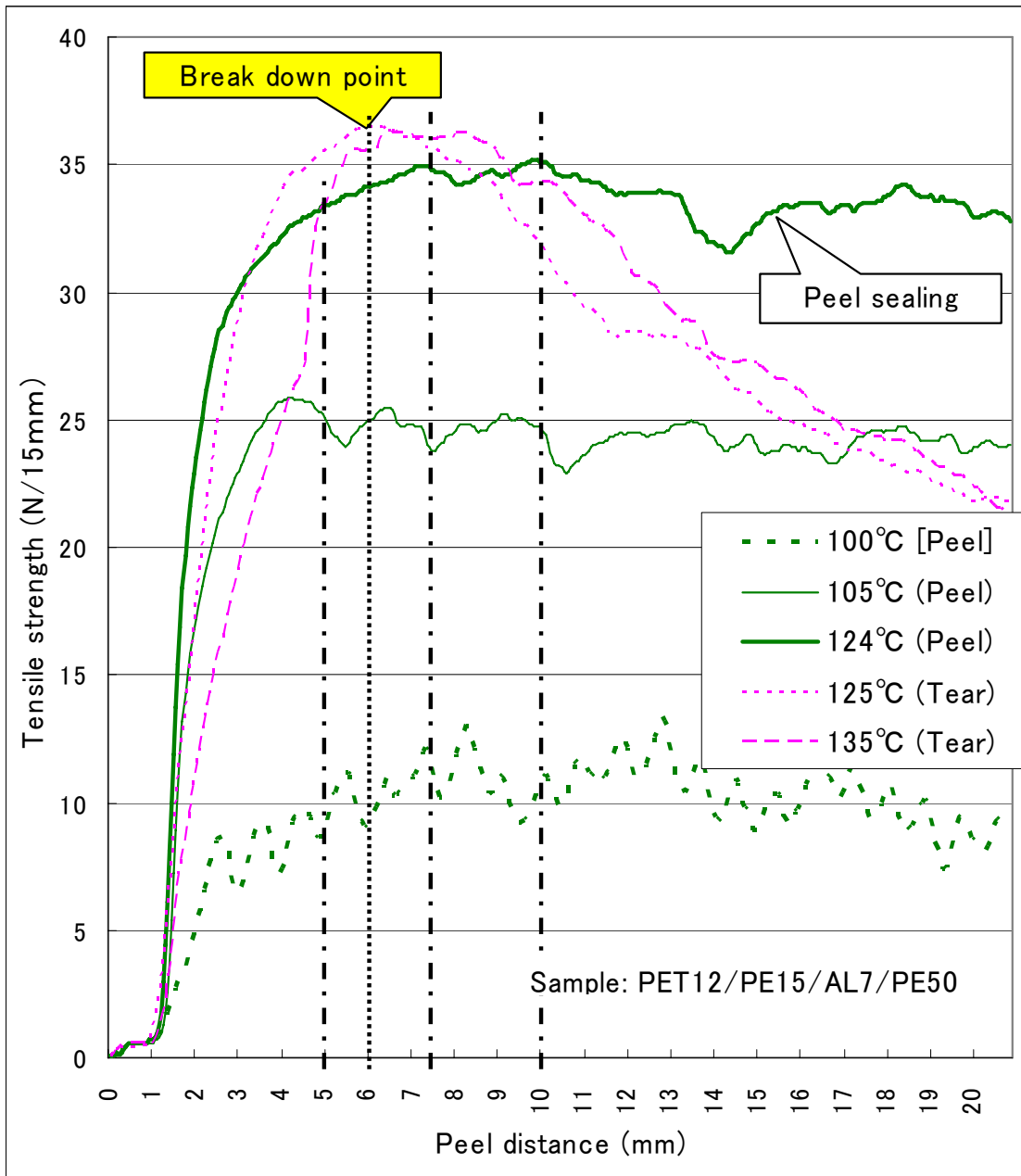


Figure 7-7 Tension pattern example of the Peel and Tear Sealing

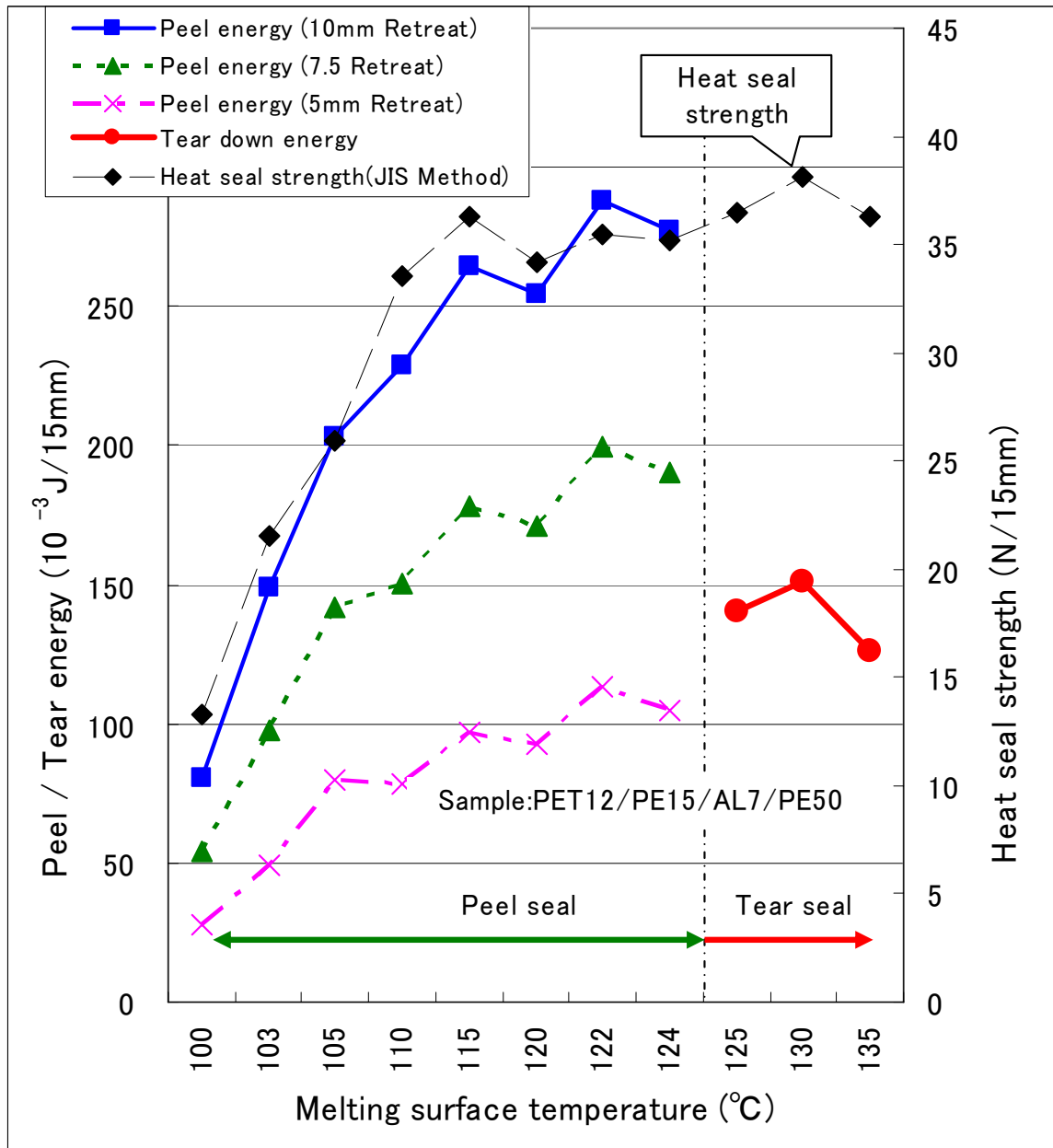


Figure 7-8 Enforcement example of the peel energy method

た結果を Fig. 7-8 に示した。併せて従来の評価法である JIS 法¹⁾でのヒートシール強さを参考に付記した。

7. 4. 3 剥離エネルギーの効用の考察

Fig. 7-8 の結果から破断と剥離エネルギー解析から本実験の包装材料では 125℃付近に Peel seal と Tear seal の境界温度があることが分かる。剥がれ巾が 5 mm までの積算値（剥離エネルギー）は何れの温度帯でも破断エネルギーより小さいので、ヒートシールフィンを利用した熱溶着の性能改善には不適である。フィン幅が 5 mm 以下のケースはインパルスシールのような細線状のヒートシール方式の採用の場合に該当する。

剥がれ巾が 7.5 mm 以上になると、105～124℃の広い温度帯で Peel seal の剥離エネルギーが Tear seal の破断エネルギーより大きくなり、剥離エネルギーがヒートシール強さの評価には重要なことを見出した。従来の JIS 法のヒートシール強さの評価法では、ヒートシール強さの立ち上がり後の熱溶着の状態が識別できないので、剥離エネルギーでの検討ができないことが分かった。

従来のヒートシールの管理法では、熱溶着は大きなヒートシール強さの達成が至上命題であったが、剥離エネルギー論の適用で適正なヒートシール強さ制御の議論ができるようになった。

7. 4. 4 剥離エネルギー論の実際への適用効果の考察

プラスチックを利用した包装袋（パウチ）はシート状の材料を熱溶着によって袋状にしている。平面状の袋に製品を充填して立体状にするので、パウチには原理的に必ず“タック”が発生する。（Photo 7-2 参照）破袋やピンホールの発生は“タック”の頂点とヒートシール線の交点が起点になって発生する。実際には、実験室の引張試験のように 15 mm 巾のヒートシール線に応力が均一にかかることはなく点状にかかる。例として、30 N / 15 mm のヒートシール強さを持つ材料の場合で、応力点の大きさを 1 mm φ とすると $30 \text{ N} / 15 \text{ mm} = 2 \text{ N} / \text{mm}$ となり、わずかな応力でもピンホールの発生や剥がれが起ることになる。実際は Fig. 7-9 に示したように円弧状の剥がれが発生する。剥がれ巾を L とすれば、剥がれラインは $(\pi \cdot L)$ となる。又、剥がれ面積は $(\pi \cdot L^2)$ になる。

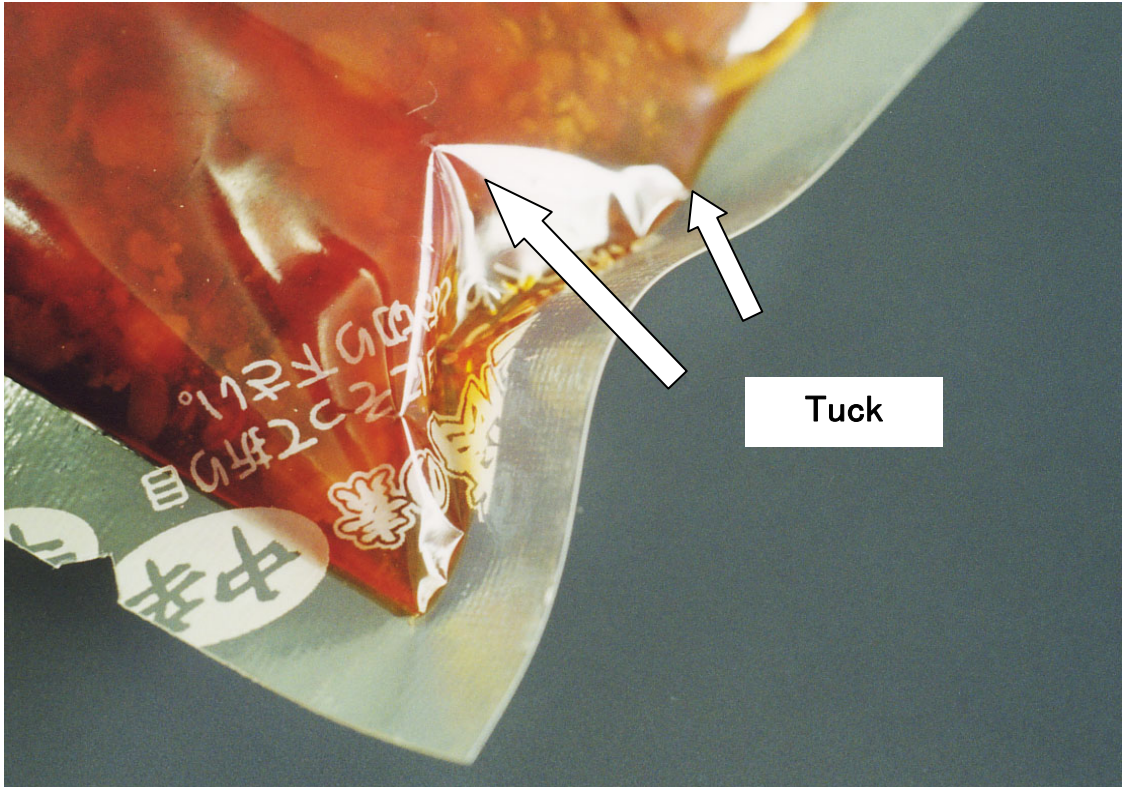


Photo 7-2 "Tuck" seen to commercial goods

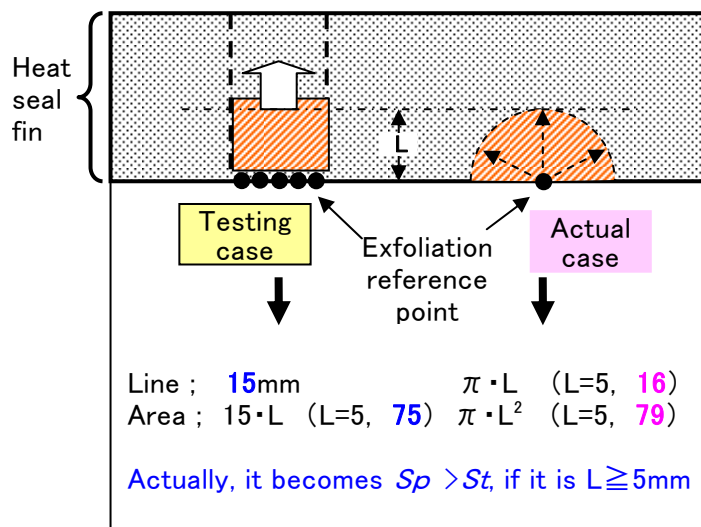


Figure 7-9 Increase of the stress line by advance of exfoliation

	Peel seal [120°C]	Tear seal [130°C]
Situation of load		
	Peel (7mm retreat)	Destruction
Load of destruction	189N	113N

Figure 7-10 Verification example of the application effect of peel energy

15 mm巾の試験結果と比較すると、Lが5 mmより大きくなると実験結果に対して余裕が出てくる。別の解釈として、ヒートシールのフィン巾が5 mm以上にとれば Peel sealの適用で受圧応力線の長さが剥れ巾の π 倍になる。外力が一定ならば受圧応力線が拡大するので、単位長さ当たりの受圧応力は減少する。これは剥がれ強さとバランスして剥離の進行を自己制御する特長を利用できる。

7. 4. 5 剥離エネルギー論の適用効果の確認

実験に使用した同一の材料で10×10 cmサイズの4方（辺）シールの袋を作成し、これに水を充填して、JIS法¹⁾で荷重試験を行った。

結果を Fig. 7-10 に示した。

130℃で熱溶着した Tear seal 袋では113 Nの荷重で破袋した。他方、120℃で熱溶着した Peel seal 袋では189 Nの荷重で、剥がれ巾は最大7 mmであった。剥がれ線は円弧状であった。この解析から熱溶着における剥離エネルギー論の破袋防御の有効性が確認できた。⁶⁾

7. 5 結論

- (1) 剥離エネルギー論の実用的な有用性が確認できた。
- (2) 熱溶着（ヒートシール）における Peel seal 溶着の有用性の把握ができた。
- (3) 従来の評価法では包装材料の適正溶着の評価が困難であることが分かった。
- (4) 本研究の展開で破れ破片の発生しにくい Peel seal の積極的な適用が可能になる。
- (5) ヒートシールのフィン巾の適正設計ができるようになる。
- (6) Peel seal の適用で高信頼な熱溶着（ヒートシール）が可能となり、ヒートシーラントの厚さの増加が不要になるので、包装材料の廉価化が図れる。

7. 6 参考文献

- 1) JIS : Z 0238 (1998)
- 2) ASTM Designation: F88-00 (2000)
- 3) (社)日本包装技術協会, 「包装技術便覧」, p. 981, p. 1394 (1995)

- 4) 菱沼 一夫, 第 13 回日本包装学会年次大会要旨集, p. 92-, (2004)
- 5) 菱沼 一夫, ヒートシールの数量化管理の研究、「日本包装学会誌」, 第 14 巻第 2 号
119 頁(2005)
- 6) KAZUO HISHINUMA: U. S. Patent No. US 6,952,959 B2, Method of Designing a Heat
Seal Width, October 11, 2005

第8章 加熱の最適化条件の検討（3）

熱溶着層（ヒートシーラント）の厚さとヒートシール強さの関係の検討

8. 1 緒言

熱溶着（ヒートシール）は熱溶融する材料を接着面に相対させて加熱することによって成立する。熱溶着はヒートシール線に引き裂き応力をかけたときに発生する剥がれ又は破れシールの2種に大別できる。熱溶着層（ヒートシーラント）が軟化／半溶融の状態相対する溶着面が圧着されると、双方の溶着面にミクロの“食い込み”が起こり、この状態で冷却すると“食い込み”部分に摩擦接着の剥がれシール（Peel seal）が発生する。

他方、溶融温度より高温域で加熱されたヒートシーラントは液状となり相対するヒートシーラントは“混合状態”となる。そして、冷却されるとヒートシーラントが一体化するので、引き裂き応力によって、ヒートシール線のエッジが切れる破れシール（Tear seal）となる。熱溶着を適用して包装袋のヒートシールを行う場合には、一定応力で破断するTear sealではピンホールや破袋が起こりやすいので、ヒートシール線の微細部分に付加される集中応力を「剥がれ」による分散／消費できる Peel Seal の適用が好ましい。¹⁾

（第7章参照）

Peel seal の加熱／軟化状態では、高分子の結晶構造間に食い込みが起こっていると推定されるので、接着性の発現はマイクロメートル以下のレベルが予測される。

本研究ではヒートシーラントにPP系の co-polymer を共押し出しで形成した包装材料を使って Peel seal 領域でのヒートシーラントの厚さとヒートシール強さの発現の関係を溶着面温度²⁾（第3章参照）をパラメータにして探求した結果を報告する。

8. 2 理論

ヒートシール強さの発現に関する要素を材料特性と加熱操作から抽出すると

Table 8-1 のようになる。本研究ではこれらの要素の中から Peel seal に着目して論ずる。

8. 2. 1 Co-polymer の Peel Seal の発現メカニズムの考察

ポリプロピレンの重合過程でのエチレン等の添加による co-polymer の生成を利用した

**Table 8-1 Element related to heat-sealing strength
for excellent heat sealing management**

Kind of Common Elements:

- Heating (Melting Surface Temperature)
- Heat Capacity (Heating Time)

Material Characteristic:

- Kind of material, [Reactivity, Non-reactivity, Co-polymer, Mixed Material]
- Polymerization [Non-polymerization Rate]
- Heat Denaturizing [Radical Characteristic]
- Peel Seal Temperature
- Tear Seal Temperature
- Rigidity [Pace of Expansion, Thickness]

Material Composition:

- Thickness
- Lamination Strength [The Difference of The Growth of Surface Material and Heat-sealant]

Heating Operation:

- Heat-sealing Method
- Overheat
- The poly “Ball”
- Tuck
- Unsuitable Pressurization [Fault Pressurization, Insufficient Pressurization]
- Uneven Heating [Pressurization Spots, Temperature Spots]

Peel seal 温度帯の拡大の努力は古くから行われている。³⁾ メタロセン触媒による co-polymer の改質はヒートシール性の改善に寄与している。⁴⁾

PP 系の co-polymer は低温域で PE 部位の溶融が始まり、ヒートシールが発現する。

加熱温度が上昇すると基材の溶融が発現するように設計されている。溶着面温度を ±1℃程度の精度でヒートシールしたサンプルを引張試験して山／谷の出る引張パターンから最大値、最小値を溶着面温度をパラメータにしてプロットすると 2 種のヒートシーラントのヒートシール特性の発現⁵⁾ (第 10 章参照) を見出すことができる。

PP の co-polymer はシーラントの使用に応じて数種の成分を混合して適用することができるため Peel Seal への適用範囲は広がっている。co-polymer をヒートシーラントに使った Peel seal と Tear seal の状態の発現推定モデルを Fig. 8-1 に示した。

シーラントの co-polymer のエチレンのブレンド割合は 8~10 数% (モル%) である。

Co-polymer の溶融が始まる低温域でのヒートシールの発現距離は高分子の 1 ユニットの大きさ⁶⁾ から 1/10~1/100 μm と推定される。

加熱によって co-polymer の軟化と圧着力による食い込みによる接近確率が Peel seal の発現の大小になると推定した。製造工程の実力を考慮して、Peel seal の完成にはヒートシーラントは数 μm もあれば十分であると考えられる。

8. 3 実験

8. 3. 1 実験用資材の選択

本研究では主にヒートシーラントの厚さに注目して実験材料の選択を行った。

サンプルはヒートシーラントと基材のラミネーション強さの影響を受けにくい共押し出しフィルムを採用することにした。サンプルは接着層を持った一体フィルムで、ラミネーション強さは材料の固有の結合強さとみなすことができる。ヒートシール強さのみを測定するためには、測定するヒートシール強さより数倍大きい応力でも変形しない基材に厚みの異なるヒートシーラントのサンプルが必要になるが、市販材料では入手できなかった。本実験では PP と co-polymer のヒートシーラントを共押し出しで製造した日本ポリエース (株) 製の“ニホンポリエース” (型名: NT) を使用した。

試験材料の仕様の概要を Table 8-2 に示した。

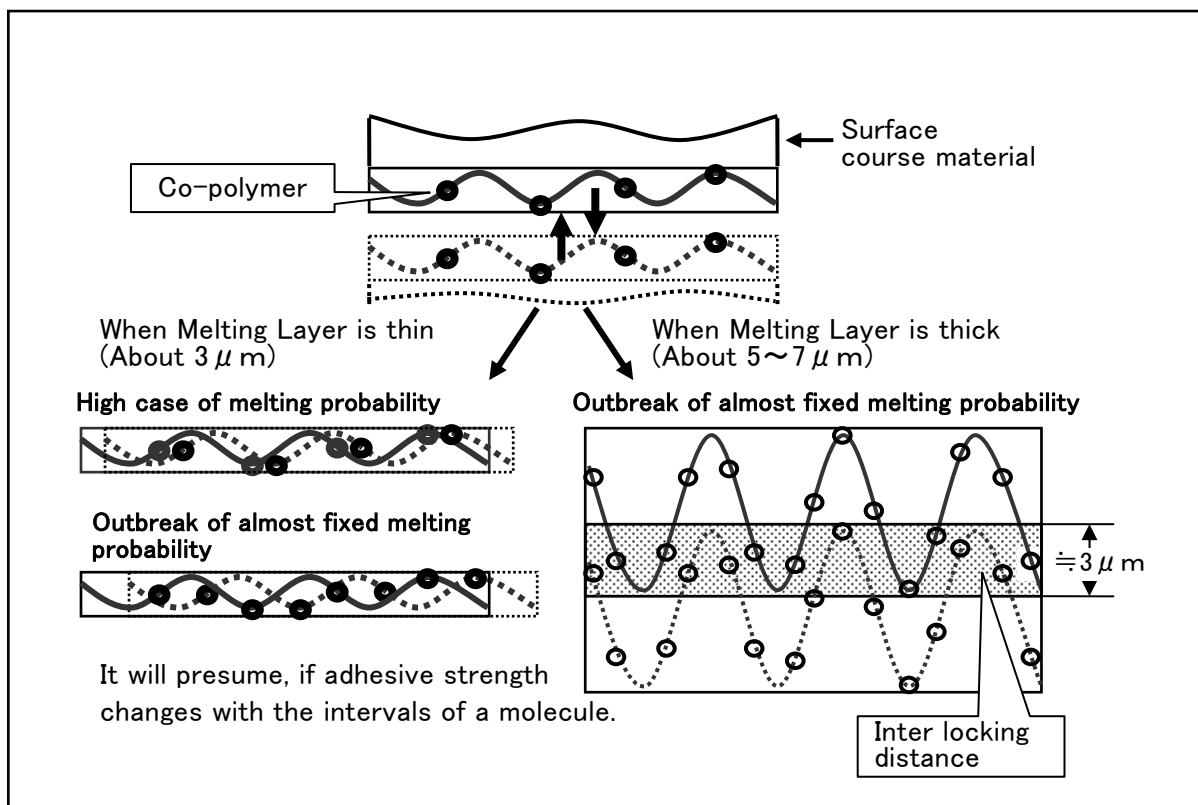


Figure 8-1 Presumed figure of the heat sealing by the Co-polymer in the peel seal condition

Table 8-2 Specification for the material used for the test

Sample Code	Sealant thickness	Whole thickness
A: 20T	3.5 μ m	20 μ m
B: 30T	4.2	30
C: 50T	6.4	50
D: 60T	7.5	60

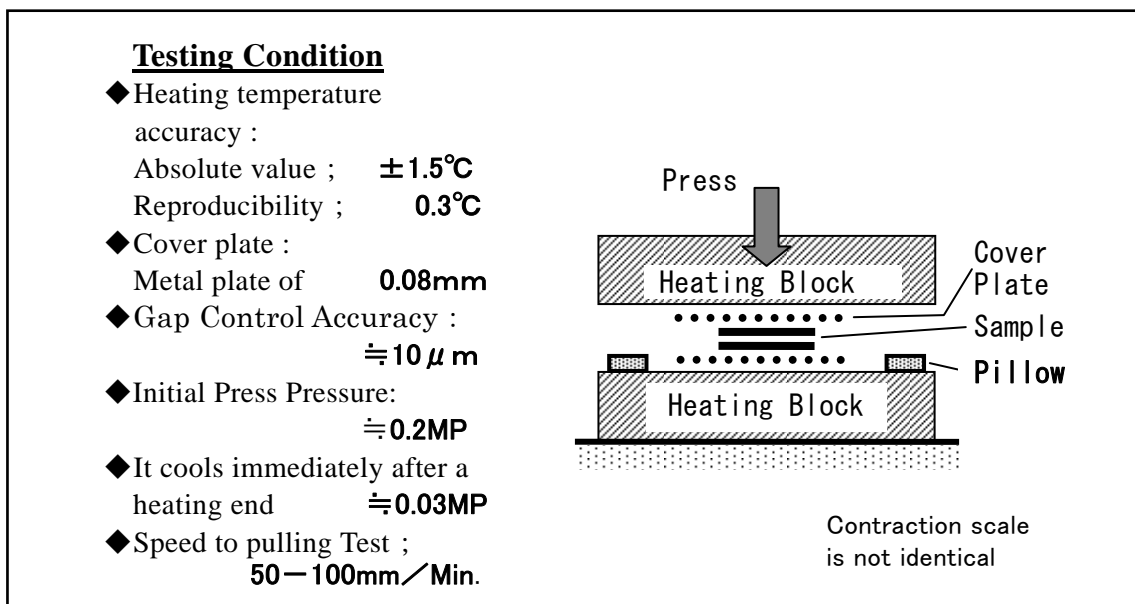


Figure 8-2 Experiment conditions required for quantities evaluation of heat sealing

8. 3. 2 ヒートシールサンプルの作成方法

ヒートシールは“MTMS”キット⁷⁾ (第3章参照) を用いて Fig. 8-2 の方法で行った。サンプルを1 μm 程度の平面性の保証された0.08mmの金属プレートで挟んで加熱した。溶融(又は軟化)したヒートシーラントが大きな圧着圧の影響を受けないように各サンプルの1枚分の厚さのプレス代ができるようにピロー(スペーサー)を設置してプレスギャップを設けた。加熱ジョーを Peel seal と Tear seal の境界温度を中心に数種類の温度に制御して、初期プレス圧を約0.2MPで所定時間⁸⁾ (第14章14.4参照) 圧着した後、直ちに約0.03MPのプレス圧で冷却した。

8. 3. 3 引張試験の方法

加熱サンプルを JIS 法に準じて引張試験機で引張強さを測定した。

Tear seal 状態になると溶着強さが基材の伸び応力より大きくなるので、基材の伸びが大幅に発生する。引張試験にかける前にヒートシール面の反対側に薄手の粘着テープを貼り付け補強を施した。引張試験のジョー間の距離を約30mmとし、基材の伸び応力がヒートシール強さの測定値になるべく影響しないように考慮した。補強材の貼り付け状況を Fig. 8-3 に示した。

8. 4 結果と考察

8. 4. 1 ヒートシーラントの厚さをパラメータにした溶着面温度ベースの引張強さの測定結果と考察

各加熱サンプルの引張試験結果を Fig. 8-4 に示した。このサンプルは125℃より高温の加熱でヒートシーラントは溶融状態の Tear seal になる。JIS 法の引張試験では3.5, 4.5 μm の材料に有意な差があるように見える。ヒートシーラントが3.5 μm の基材の厚さは20 μm と薄いので125℃以下の Peel seal 状態でも基材の伸びが顕著に現れ、ヒートシール強さが伸び応力の中に埋まりこんでしまった。基材の伸びの影響を排除するために、粘着テープ補強(ラミネーション)して引張試験を行った。粘着テープの貼り付け処理の結果、ヒートシール強さの表示は格段に向上し、ヒートシーラントの厚さが3.5~7.5 μm の Peel seal 領域での引張強さ5N/15mm付近で同等の値を示した。

ヒートシーラントが6.4 μm のサンプルのメーカーが提示しているヒートシール強さを

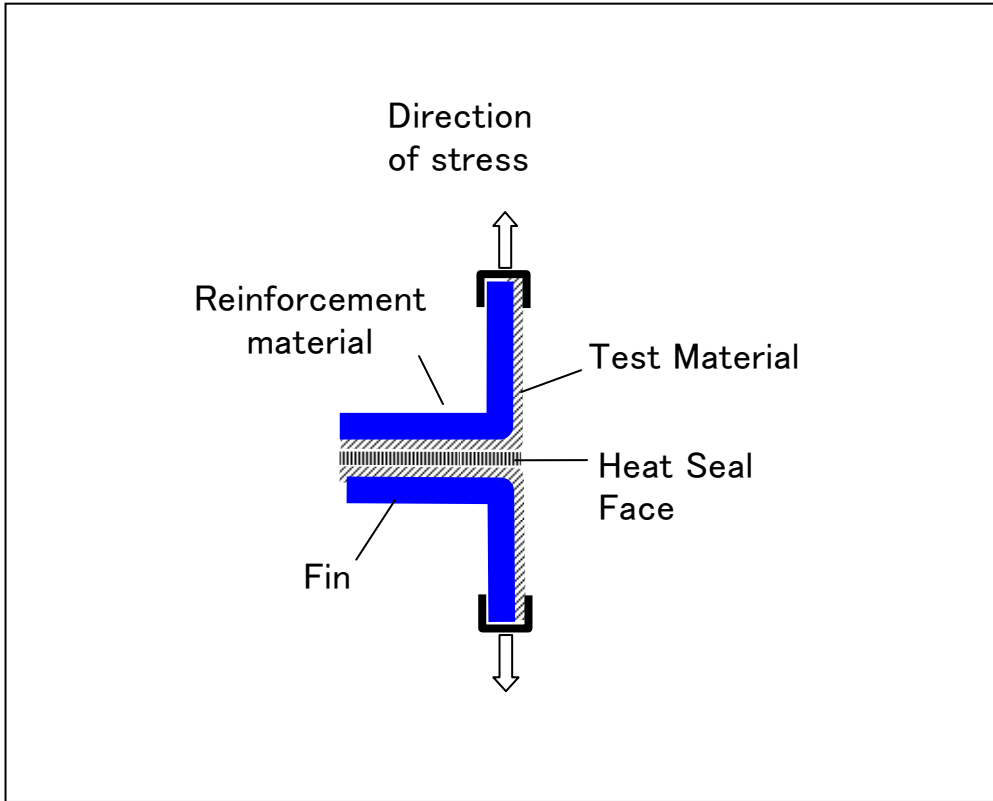


Figure 8-3 Attachment method of the reinforcement

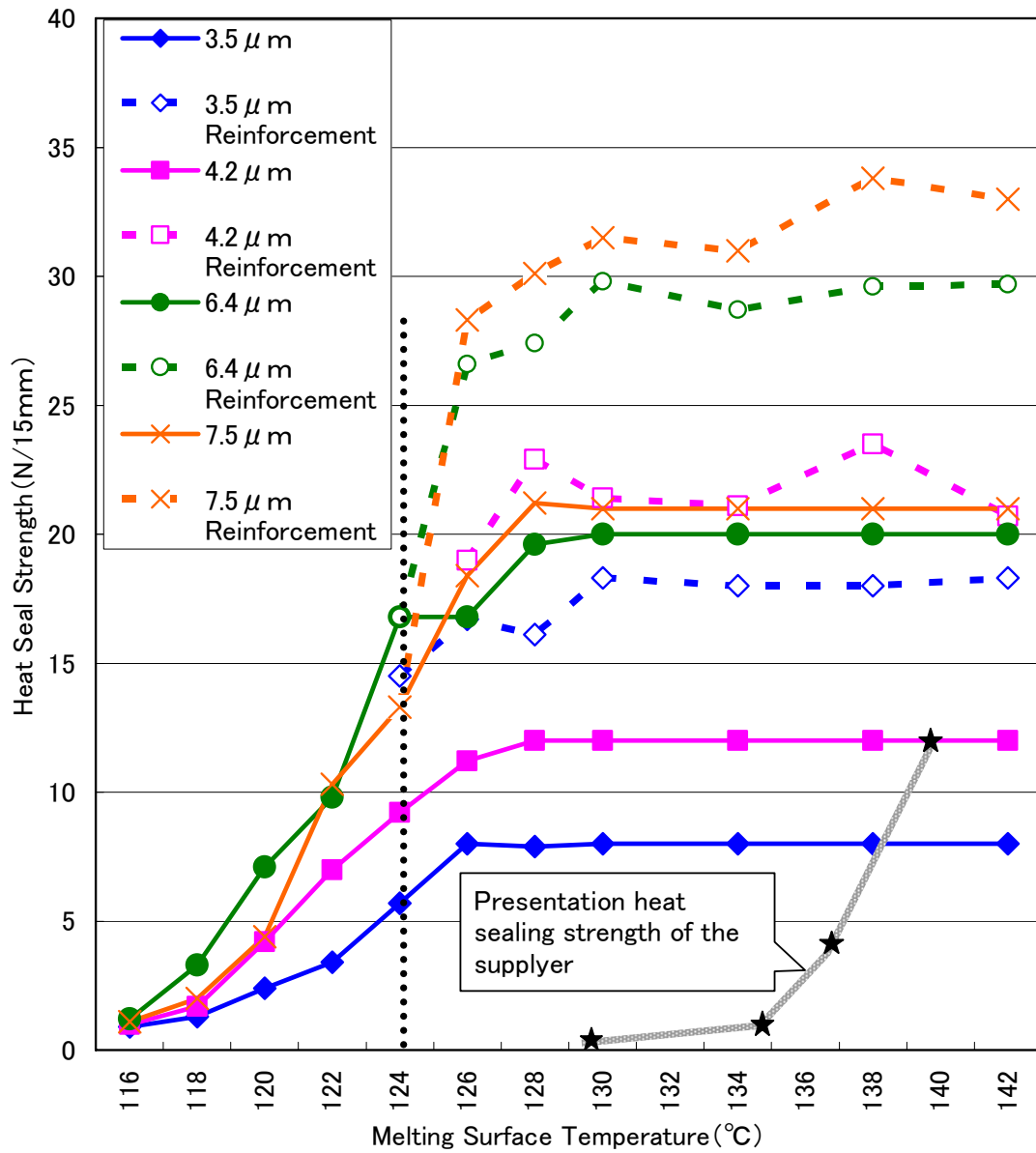


Figure 8-4 Tensile test result

図中に示したように、発現温度や発現パターンに、材料の基本性能の評価に影響がある程の大きな相違があり、従来の試験法では課題があることを示している。

8. 4. 2 溶着面温度をパラメータにした引張強さの評価結果の考察

Fig. 8-4 のデータを使って、横軸をヒートシーラントの厚さとして、加熱温度をパラメータとしてヒートシーラントの厚さとヒートシール強さの関係を作成したものを Fig. 8-5 に示した。Peel seal の最高温度の 124℃ の補強処理データに着目すると、3~6.4 μm のヒートシーラントで、ほぼ同等のヒートシール強さを示しているが 7.5 μm では少し下がっている。

金属イオンを含まない非反応系のプラスチックでは、溶融結合は線状高分子の“絡み合い”結合（分子間摩擦力）によると言われている。Peel Seal 状態では相対するヒートシーラントの“食い込み”が 3~6 μm に制限されて、7 μm 以上の深さの co-polymer が分子間摩擦に関与しにくいと推定する。実験結果では 3~6 μm 程度に co-polymer の結合確率の好条件領域が存在していることが分かる。（Fig. 8-1 参照）

128℃ではヒートシーラントは溶融状態となりヒートシール線の剥離は殆ど起こらず、引張試験では基材を含めた伸びが発生する。4.2 μm 以上サンプルの補強データの引張強さは、ヒートシール線の破壊強さではなく、サンプルの伸び応力であり、破断強さはこの応力より大きい Tear seal 領域にあり、ここはピンホールが発生する領域となるため、ヒートシール強さのみの測定では評価できない。⁹⁾（第7章参照）

この結果から Peel Seal の完成には 5 μm 程度のヒートシーラントで充分であると推定される。

8. 4. 3 実際に測定しているヒートシール強さの複合要素の解析と考察

補強に使用した粘着テープの剥離強さ（デラミ強さ）は 3~4 N/15mm と計測された。表面が加工処理をしてないプラスチック材の粘着/剥離強さは粘着テープのメーカーに関係なくほぼ同等であり、真空接着が主体によるものである。

ヒートシーラントが 6.4 μm、130℃のヒートシールサンプルの引張パターンを Fig. 8-6 に示した。この図に補強材として使った粘着テープとサンプルとの剥離強さ併

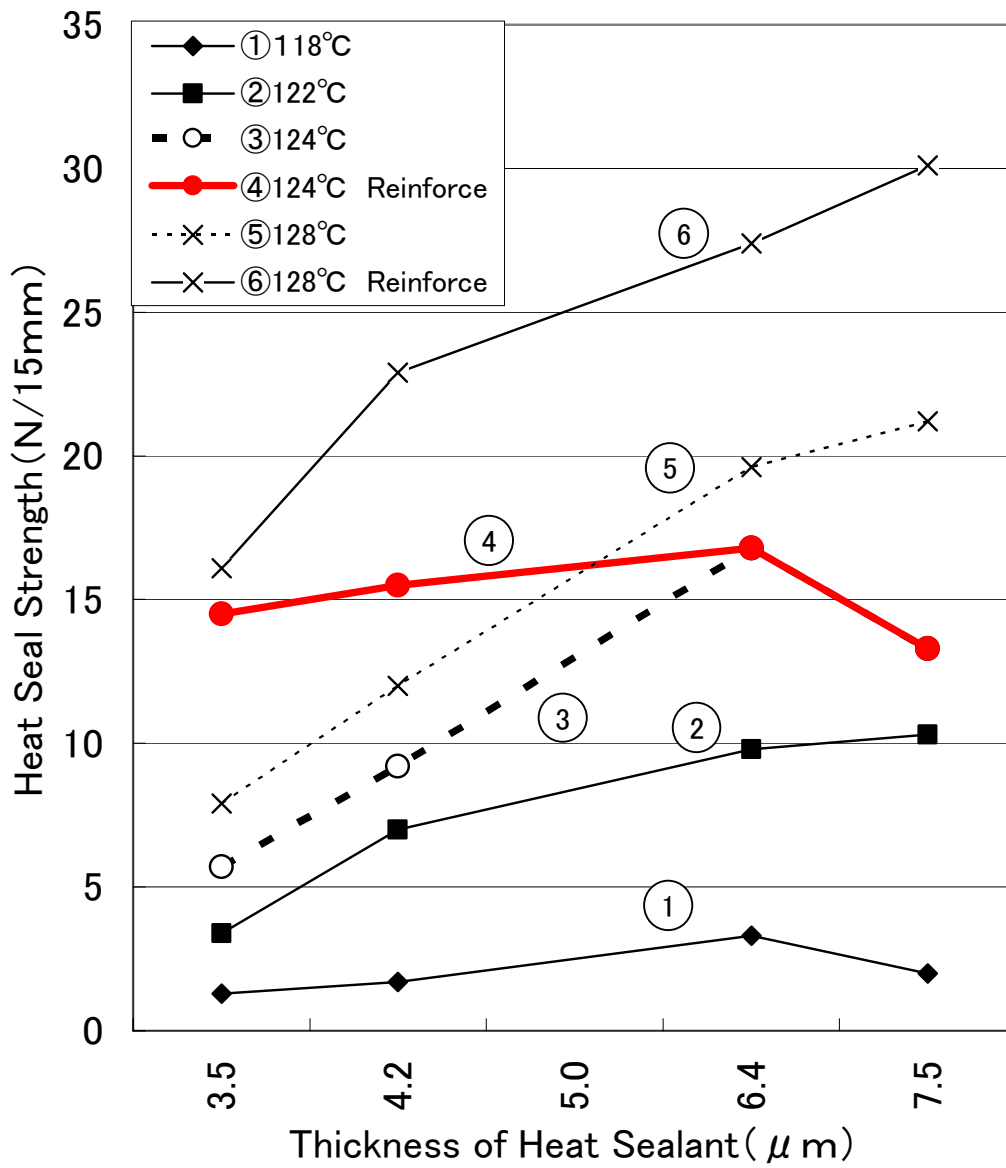


Figure 8-5 Measurement result of the relation between heat sealant thickness and tensile strength

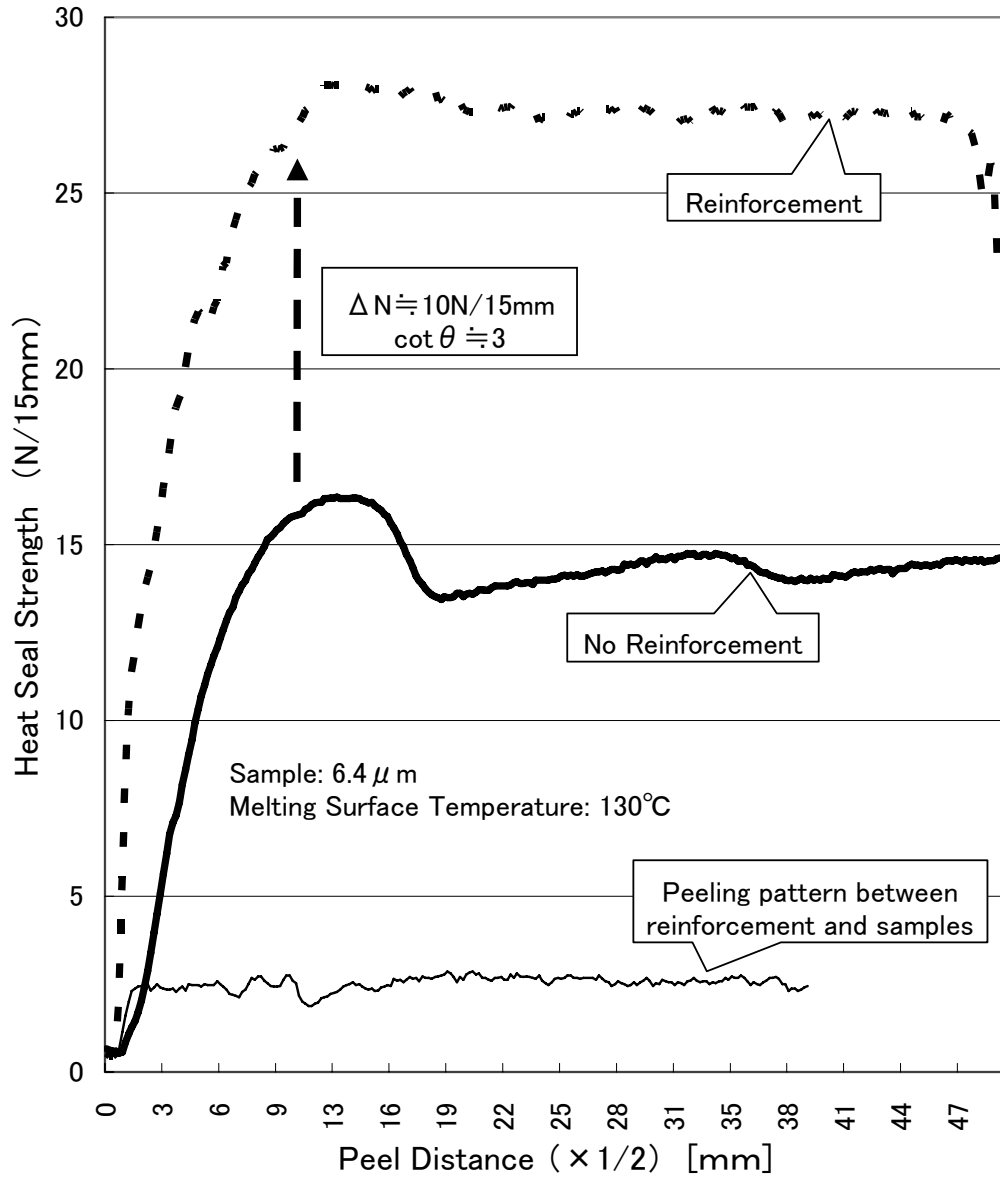


Figure 8-6 Effect of heat sealing strength of the lamination strength on the reinforcement

記した。補強材の剥離力は、ほぼ $3\text{ N}/15\text{ mm}$ であった。補強なしの引張パターンは約 17 N まで上昇した後に基材が伸び、ヒートシール線の破れは発生していない。

従来の評価法^{10), 11)}ではこの $17\text{ N}/15\text{ mm}$ をヒートシール強さと評価している。

補強材を表層材、試験材を内層材のラミネーション材としてラミネーション強さの考察を行う。補強によるヒートシール強さは $28\text{ N}/15\text{ mm}$ まで増強する。見かけ上のヒートシール強さは約 $10\text{ N}/15\text{ mm}$ も向上する。この場合でもヒートシール線の破れは発生していない。補強材とサンプルとの粘着力の $3\text{ N}/15\text{ mm}$ に対して引張強さの制御向上は $10\text{ N}/15\text{ mm}$ あり、補強材の粘着力の 3 倍程度になっている。引張試験の観察から、剥離（デラミ）のメカニズムを Fig. 8-7 に示したように解析した。

引張試験によって、図中のヒートシール線のマークした点から発生するデラミネーションは、表層材の伸びとヒートシーラントのシール線から発生する伸びの相違によって生じる。“三角形”のフィン部と本体面に相当する二辺が“デラミ力”に関与している。

Fig. 8-7 にはサンプルと補強材のデラミ力 (1), (2) に注目した解析を行っている。

ヒートシーラントの伸びが“ゼロ”の場合のデラミ力は二辺ともゼロである。引張応力はヒートシール線の数 $\mu\text{ m}$ の巾にかかるので先ずヒートシーラントのヒートシール線側に応力が発生し、ここから伸びが発生する。フィン側の補強材の粘着面にかかる初期引張応力は、ほぼ直角になるので、フィン側表層材にはデラミ力 (1) が発生して、実験サンプルの場合は 3 N 以上で容易に剥離が始まる。実機では、このフィン側のラミネーション強さはヒートシールの加熱を受けるので、熱処理前のラミネーション強さより小さくなる。この結果ヒートシールのコーナーに三角形が形成され、本体側のヒートシーラントと表層材の間には $[(\text{引張強さ}) \times \cot\theta]$ のデラミ力 (2) が発生する。

この実験の場合、ヒートシール強さの向上は $17\text{ N}/15\text{ mm}$ から $28\text{ N}/15\text{ mm}$ に約 $10\text{ N}/15\text{ mm}$ 向上している。補強材の粘着力（ラミネーション力）の約 3 倍のデラミ力 (2) となっているので、この時の角度は $71 \sim 72^\circ$ と計算できる。形成された三角形はヒートシーラントが破断するまで拡大する。この考察結果から Tear Seal の従来のヒートシール強さは①ヒートシーラントの「伸び力」、②「ラミネーション強さ」、③「ヒートシール強さ」そして引張試験の進行で 15 mm 巾に引張力が均一にかけられなくなって発生する④“タック”の「複合」結果を測定していたことが分かった。

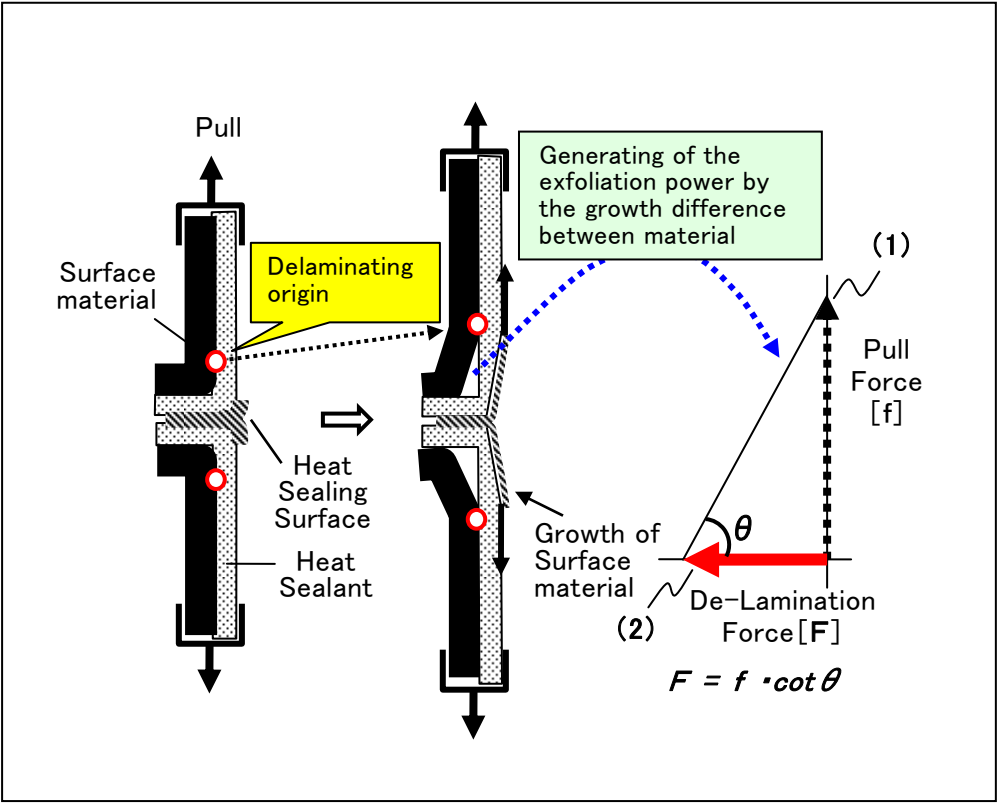


Figure 8-7 Mechanism of the de-lamination which is generated at the heat seal part

すなわち引張力に対して上記に定義した三角形が形成されなければデラミは発生しないことになる。

関連要素を以下のように表現すると

ヒートシール強さ： F_H (N/15mm)

ヒートシーラントの初期伸び力（応力のかかった直後）： F_S (N/15mm)

ラミネーション強さ： F_L (N/15mm)

表層材の初期伸び力： F_C (N/15mm)

デラミ発生の角度定数： k (3~4程度)

各要素とデラミの発生の関係は次のようになる。

(1) $F_S > F_H$ ならば → ラミネーション強さに関係なくデラミの発生なし

→ ヒートシール線の剥離

(2) $F_L \cdot k > F_H > F_S$ ならば

→ デラミの発生なし、表層材によるヒートシーラントの伸びの抑制/補強作用

→ ヒートシーラントの部分破断

(3) $F_H > F_L \cdot k > F_S$ ならば、

① $F_C > F_H$ の場合 → 表層材による伸びの抑制/補強作用、

デラミの発生は大

② $F_H > F_C$ の場合 → 表層材とシーラントの伸びの差がデラミの

発生応力となる。 伸びは大、デラミの発生は小

(4) $F_H > F_S > F_L \cdot k$ ならば → ヒートシール線の剥離と破断はなし

ヒートシール線を起点に伸びの発生

→ デラミの発生は大

以上関係の図解を Fig. 8-8 に示した。

(1) の ($F_S > F_H$) における各要素の引張パターンと引張試験に表れる応力パターンを Fig. 8-9 に示した。論理的には (2) が最強の接着状態となるが ($F_L \cdot k > F_H$) の条件のラミネーション強さは作りにくいものと考えられる。

Peel Seal 領域では引張強さはヒートシール面の熱溶着状態に依存するので「複合」要

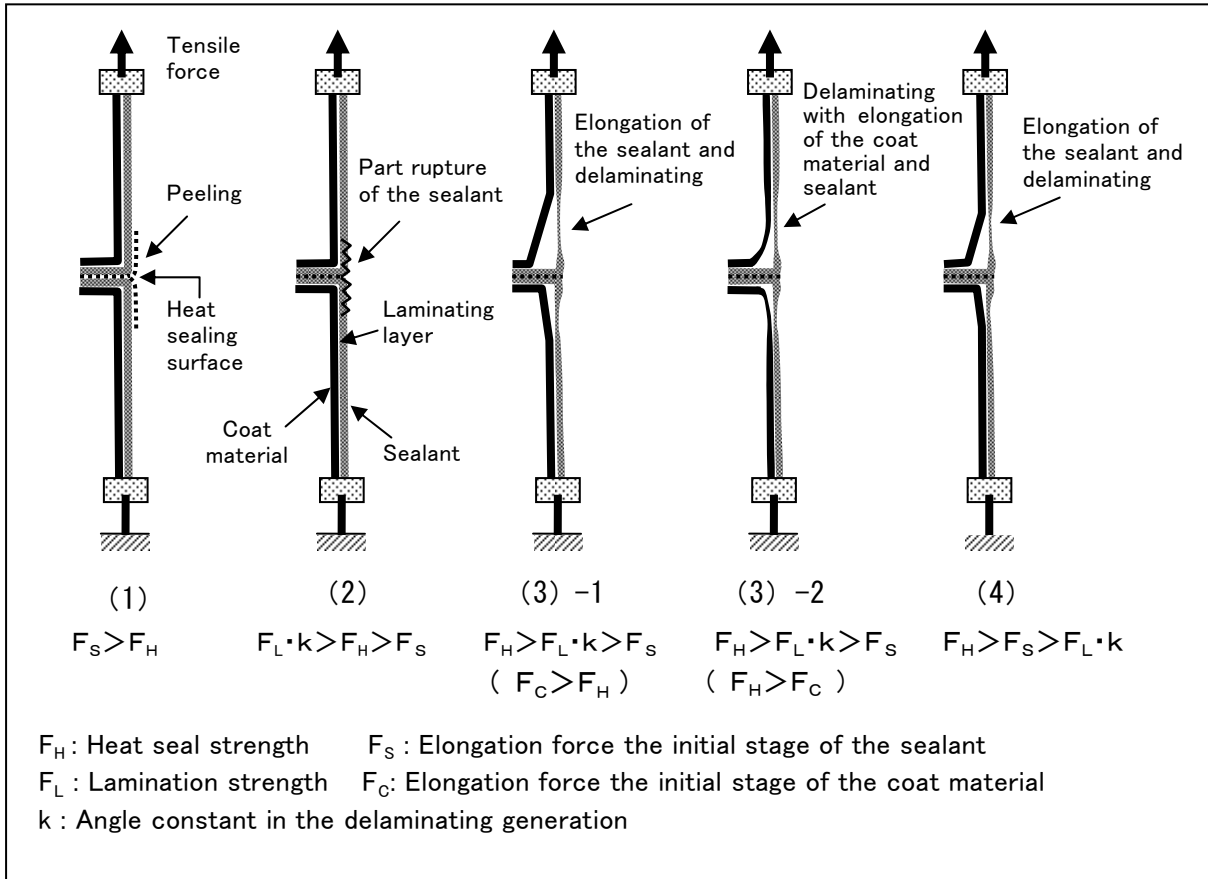


Figure 8-8 Explanation figure of mechanism of the generation of the delaminating

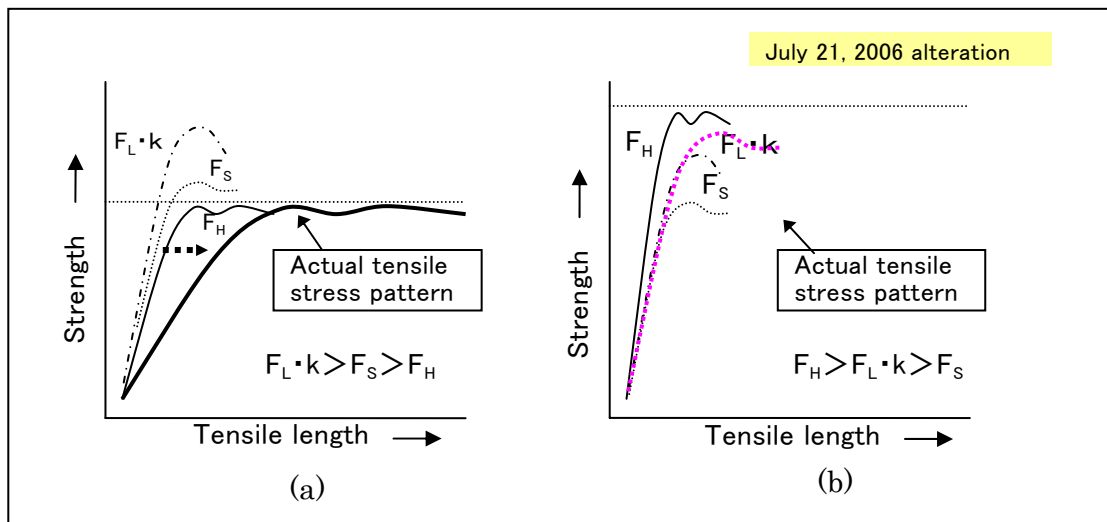


Figure 8-9 Description of generation of the elongation and Peeling of sealant by the difference of the tensile stress constant

素の影響を受け難く(1)のようになる。

(1) は Peel seal の条件下でのヒートシールによって容易に制御ができる。

($F_H > F_S$) の発現条件は溶融接着の Tear seal の場合に該当する。この時のデラミネーションは種々条件で発現の仕方が異なる。剛性の大きい厚手 (70~80 μ m) の PP のヒートシーラントを適用したレトルトパウチの Tear seal などがこれに相当する。

材料の伸びエネルギーを剥離エネルギー論¹⁾ (第7章参照) と同様な論理を利用して、Tear Seal 状態でも破断力にマージン付与できる破袋制御への応用性を示唆している。

これらの知見はラミネーションフィルム設計上の有効な指針となるであろう。

8. 5 結論

(1) 非反応系プラスチックのヒートシーラントの厚みとヒートシール強さの関係を定量化できた。

(2) 非反応系のプラスチックではヒートシールの Peel Seal は5~6 μ mの厚さのヒートシーラントで完成すると推定できる。

(3) 従来の (Tear Seal における) ヒートシール強さは材料の「伸び応力」、
「ラミネーション強さ」、伸びで発生するタックの「複合」力の測定であった。

(4) ラミネーション強さ (直角剥離力) の JIS 法のヒートシール強さに及ぼす効果は3~4倍あることが分かった。

(5) 実際の破袋制御において、ヒートシール強さのみに依存することなくエッジ切れやピンホールの発生を留意して、Peel Seal、材料の伸び、デラミネーションエネルギーを総合的に利用するのが得策である。

8. 6 参考文献

- 1) 角田光弘、菱沼一夫、第12回日本包装学会年次大会予稿集 p. 86 6月 2003年
- 2) 菱沼一夫、ヒートシールの数量化管理の研究、「日本包装学会誌」、第14巻第2号 124頁 (2005)
- 3) G. L. Hoh、U. S. Patent 4346196 5-7 (1982)
- 4) 大森 浩、第33回日本包装学会シンポジウム要旨集 p. 33 (2004)

- 5) 菱沼 一夫、第 13 回日本包装学会年次大会予稿集 p. 90 (2004)
- 6) Osswald/Menges, 武田 邦彦訳監修、プラスチック材料工学、シグマ出版、p. 74 (1997)
- 7) 菱沼 一夫、ヒートシールの数量化管理の研究、「日本包装学会誌」、第 14 巻第 2 号
129 頁(2005)
- 8) 菱沼 一夫、第 14 回日本包装学会年次大会予稿集 p. 94 (2005)
- 9) 菱沼 一夫、第 14 回日本包装学会年次大会予稿集 p. 18 (2005)
- 10) JIS Z 0238; 7 項 (1998)
- 11) ASTM Designation:F88-00

第9章 熱溶着（ヒートシール）機能の確認（1）

簡易剥離（イージーピール）制御の定量的評価法の検討

9.1 緒言

熱溶着（ヒートシール）では剥がし易さよりも、より強い接着が実践されてきている。その強さは鋏やナイフ等の道具を使わないと破りにくいものである。

消費者ニーズの多様化（高度化）に伴い、包装商品のイージーピール／リシールは消費者側からの利便性の強い要求になっている。剥がし易いイージーピールシールは同時に“悪戯”防御性に弱点がある。

世界的な環境変化は包装技法に新たな機能を要求し、イージーピール包装にもタンパーエビデンス（Tamper-evidence）の要求が高まってきている。

イージーピール技法には次の性能が求められている。

- ①内側から応力に対しては通常のシール性を保証、
- ②外部から操作では容易に開封、
- ③再封緘が可能、
- ④タンパーエビデンスの確保。

これらの要求を実際化させるのにジッパーシステムのようにリシール機能を別途付加する方法もあるが、ヒートシール部位にイージーピール機能を持たせる方が廉価で工業的には有利である。

熱溶着（ヒートシール）の際にイージーピール機能を発現させるには、

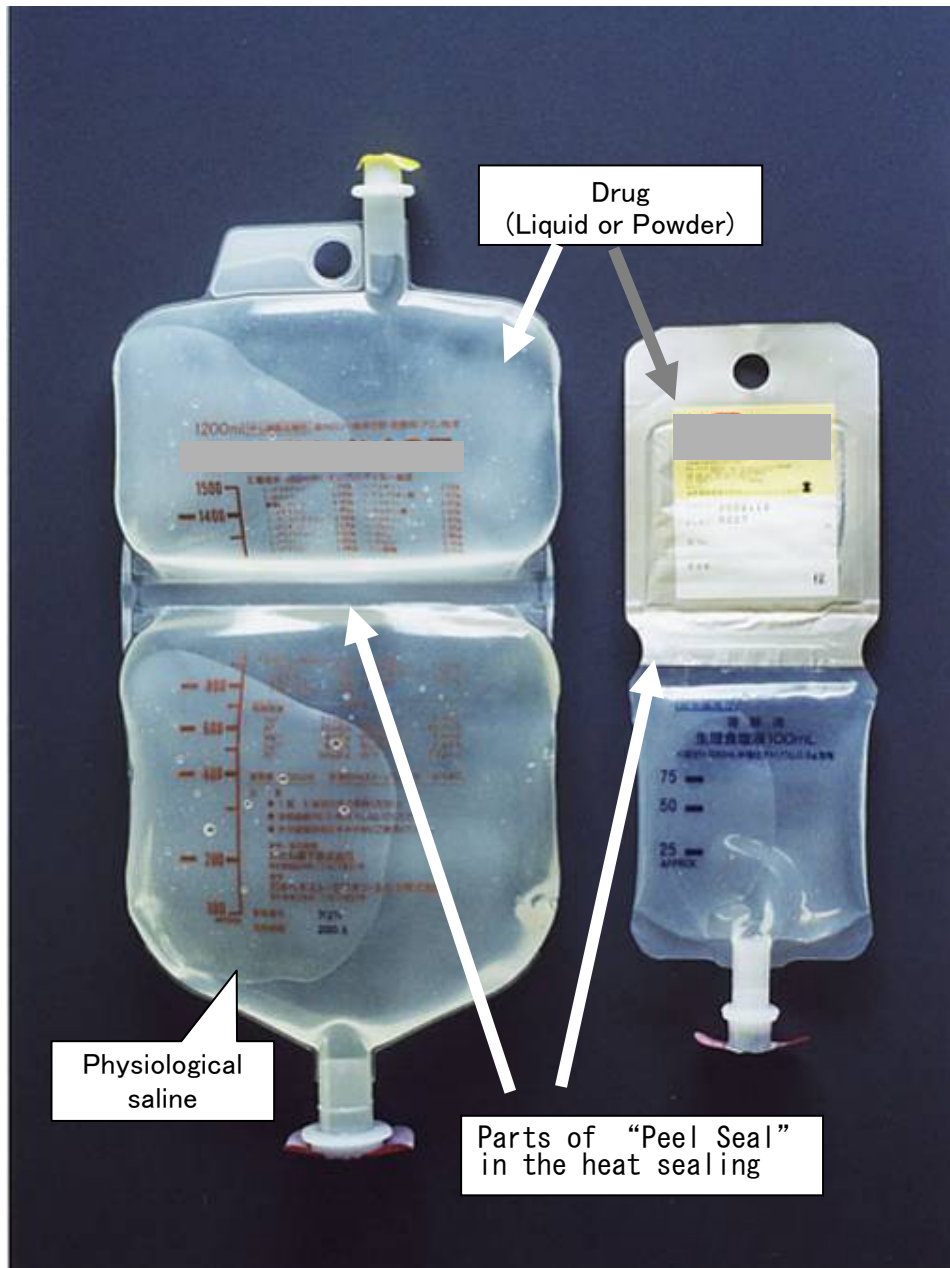
- (1) ヒートシーラントに「熱劣化」を起こさせて、ヒートシール強さを低下させる
- (2) 微量混入物による部分的な溶着の発現機能（反応性、非反応性）の制御
- (3) ヒートシールの立ち上がりの Peel Seal¹⁾ ゾーンの利用がある。

何れの方法もヒートシールの加熱操作には精密な制御を必要とする。

消費者のニーズに応える性能を持った製品が既に市場に出始めているが、市場観察によるその性能は満足すべき状況ではない。

高度のイージーピール性能が要求される注射薬包装の例を **Photo 9-1** に示した。

本研究では、既に市場に出ている食パン包装のイージーピールに使われている包装材料



Drug and physiological saline of the sterilization treatment are partitioned in the easy peel in order to avoid the decomposition of the drug after the mixing.

By oppressing of the use in the human force, and penetrating of the easy peel, the injection solution is made by the mixing of the drug with physiological saline.

The example of achieving safety, effectiveness and labor saving in the application of the easy peel.

Photo 9-1 Example of pharmaceutical packaging of which the easy peel function was positively applied

を使い、① 溶着面温度測定法 (“MTMS”) (以下 “MTMS” と称す) (第 3 章参照) によって精密に溶着面温度の制御をし、② イージーピール包装材料のヒートシール強さの発現状況を詳細に把握する。そして ③ 容易な工業的な操作方法 の是非を探求をする。

9. 2 理論

9. 2. 1 イージーピールの発現方法

イージーピールの発現方法は、

1) ラミネーション層の一部に熱変性層を設け、ヒートシーラントのエッジ切れと層間剥離の利用 (第 8 章 Fig. 8-7, 8 参照)

2) ヒートシーラントの Peel Seal ゾーンの適用¹⁾

に大別できる。この方策の説明を Fig. 9-1 に示した。

前者はラミネーションが必要であり、剥離面の短冊状の剥離片の発生がある。

又コストはかさむ課題がある。後者は材料の Peel Seal ゾーンを利用できるので、単一フィルムでも可能である。しかし、プラスチック材料の純度が上がると結晶性がよくなるので、溶着の立ち上がりは鋭くなり (第 1 章 Fig. 1-1 参照) ヒートシールの加熱温度制御巾が狭くなりピール制御が難しくなる。Peel Seal ゾーンの温度幅を拡大するには、アイオノマーや E P R を混入して、Co-polymer を生成²⁾する方法が利用できる。

今日では P P 樹脂の Co-polymer を共押し出しやコーティングする方法、E P R の混入使用によるヒートシーラントの溶着温度の低温化技術の普及が進んでイージーピールに利用されている。

本報告ではヒートシーラントの Peel seal 性能を応用したピールシールの適用法とイージーピールの発現測定法に付いて述べる。

9. 3 実験方法

9. 3. 1 イージーピール性能の試験方法

試験材料として既に市場に供給されている食パン包装の個別包装材料を使用した。

材料構成は P P にヒートシーラントとして PP の co-polymer を共押し出しで生成したものである。包装材料の詳細な組成や低温でのヒートシールの発現物質は把握していない。

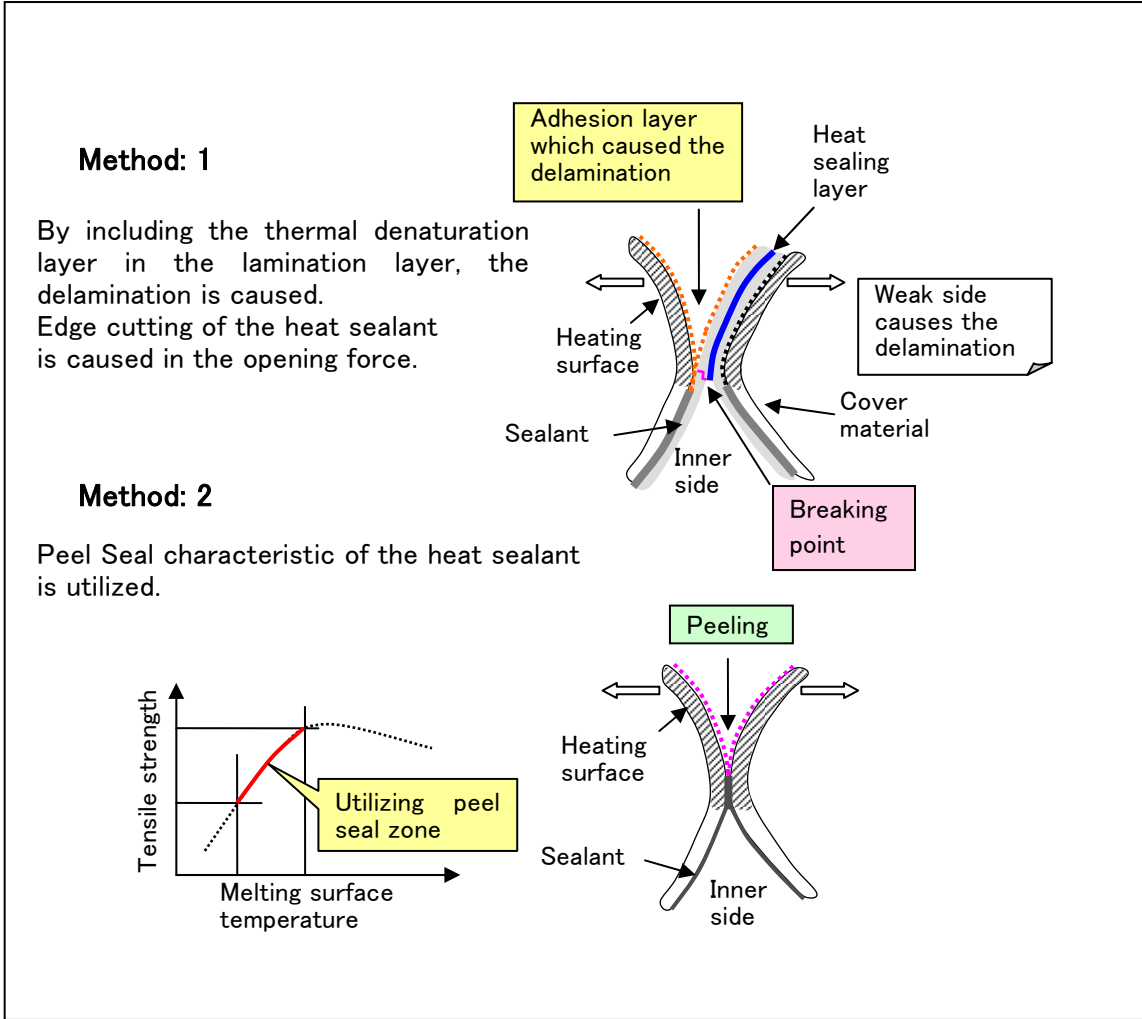


Figure 9-1 Description of the expression method of the easy peel

加熱は「MTMS」キット³⁾（第3章参照）を使い、加熱体の表層に0.1mmのテフロンシートをカバーした。1対の加熱体は同一温度に調節して、設定温度を順次変更して加熱した。最終の圧着代である圧着ギャップは試料1枚分相当に設定し、0.2MPの初期圧で設定の溶着面温度になるまで加熱した。この操作により軟化/熔融状態で溶着面の接触が保たれる程度の圧着圧にしているのでヒートシーラントの熔融後の移動は、最小限にしている。加熱試験条件を Fig. 9-2 に示した。

加熱サンプルの冷却を均一と高速化するために加熱終了後直ちに0.03MPで室温状態の平らな金属片で冷却プレスした。加熱圧着条件を均一にするために試料は約25mm幅にカットしたものを使用した。加熱、冷却後の試料を15mm幅に正確にカットしてJIS法⁴⁾の引張試験を行った。引張応力パターンを電子記録し、パソコンに取り込んだ。

9. 3. 2 ピールシールフィルムの溶着面の引張応力パターンの追求実験

熱溶着（ヒートシール）したピールシール包装材料の溶着面の引張応力パターンの最大値/最小値は大きく変動する。このメカニズムを解析するために引張試験を0.8cm/Min.の低速で行い、引張距離の分解能を0.05mmとした。

サンプルのマイクロな加熱の均一性を確保するために、数 μ m平面性が保証されている金属シート（シムテープ）でサンプルを挟んで加熱した。

9. 4 結果と考察

9. 4. 1 イージーピール材料の引張試験結果

イージーピール包装材料の引張強さパターンはPeel sealゾーンとTear sealゾーンではその様子が大きく異なることが発見できた。

予備加熱試験で溶着の発現する温度帯（74℃～）を調べ、80℃付近から実用的なヒートシール強さが発現することが分かった。溶着面温度ベースの加熱温度80, 82, 84, 86℃を選んでヒートシールを行った引張試験のデータ Fig. 9-3 に示した。84℃加熱は母材が熔融接着状態のTear sealとなっていて、界面剥離状態ではなく、ピールシールには不適な加熱条件である。

82～84℃の加熱では引張強さの応答は引張距離に対して大きく変動している。

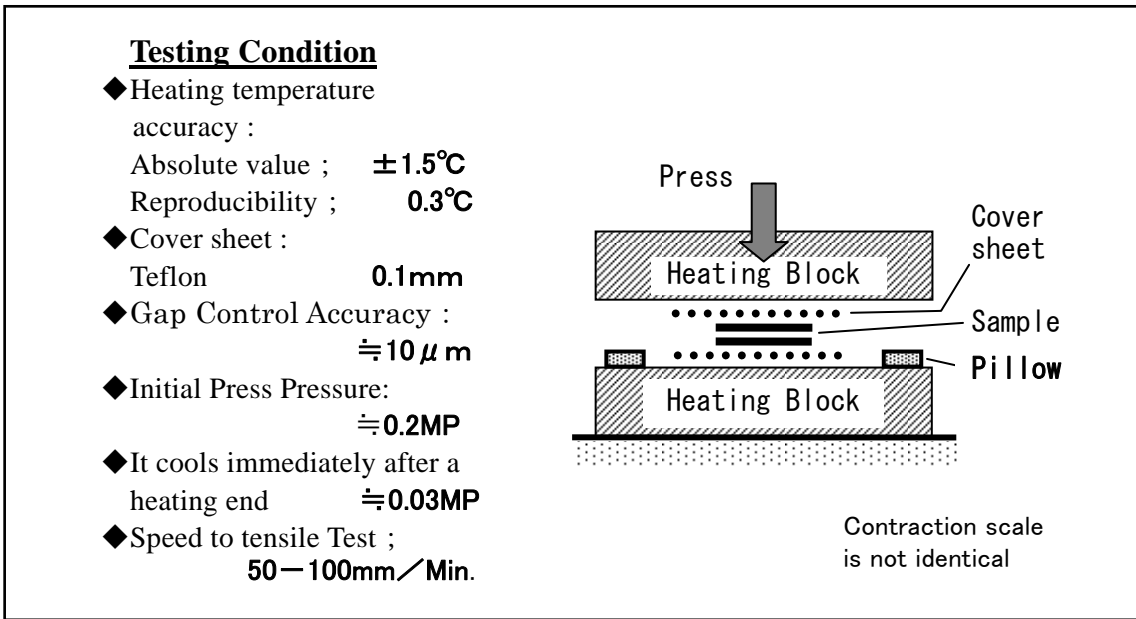


Figure 9-2 Experiment conditions required for quantities evaluation of heat sealing

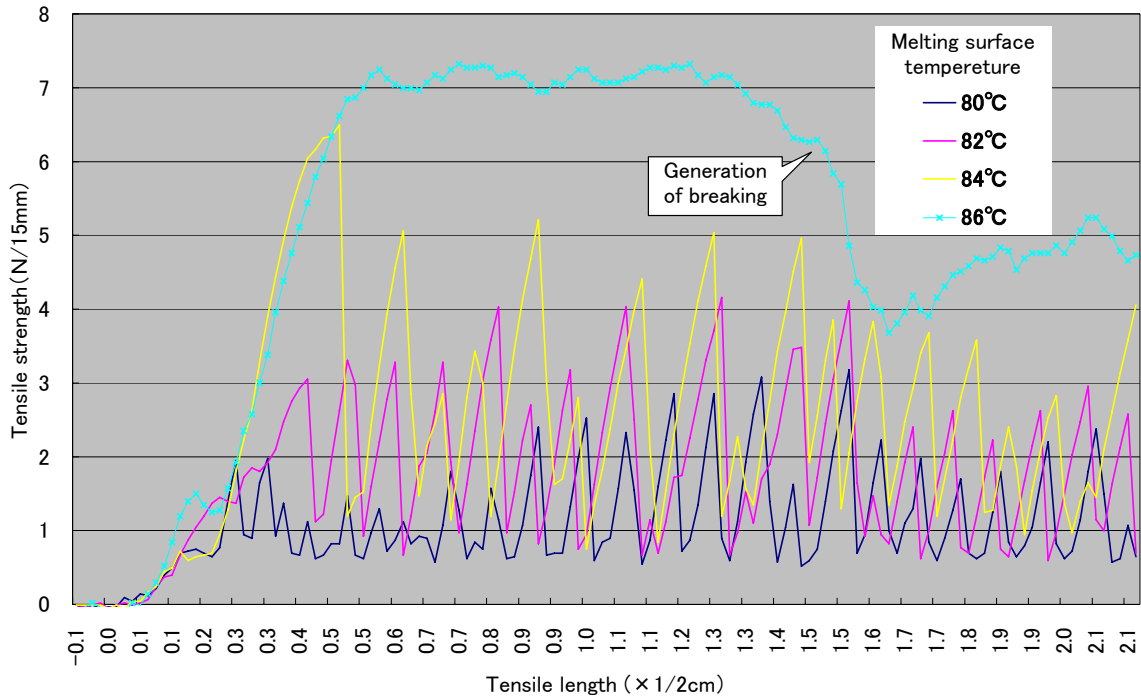


Figure 9-3 Pattern of the tensile strength of each Temperature of the material of bread packaging

J I S法ではこのような場合には、最大値を採取するとなっている。

(註；A S T Mも同じ) しかし、データの最大値採取がどのようなピールシールの性能にどのように関係しているかは定かにされていない。

9. 4. 2 引張強さの変動パターンの解析と考察

引張強さの74～90℃の測定値の最大値と最小値をそれぞれ採取して、溶着面を横軸に引張強さを縦軸にしてプロットした結果が Fig. 9-4 である。

PPのCo-polymerは母材の中に“島状”に分布していると言う考察⁵⁾を参考にして、最大値を主にCo-polymerの溶着強さ、最小値を母材PPの溶着強さと推定した。75～90℃加熱の引張強さの測定結果の最小値群(2)は母材のPPの引張強さであり、最大値群(1)はCo-polymerの引張強さと母材のPPの引張強さの2つの引張強さが合成されたものである。最大値から最小値を減じたものは、Co-polymerの溶着強さ(3)である。これを Fig. 9-4 に併記した。

84℃以降は溶融接着の母材の引張強さが支配的になって、合成引張強さは点線のように急激に増加すると推定される。しかし測定結果は、7.5 N/15mmで一定であった。

86～90℃の引張強さはヒートシール線の剥離や破れによるものではなく、基材の伸びに起因することが分かった。引張強さは基材の伸び応力を測定していたことになる。

推定される各々引張強さを Fig. 9-4 に付記した。(引張強さと基材の伸び応力の相互作用の解析は第8章で詳解した)

この結果から、本実験で使用した包装材料の界面剥離を利用したピールシールの加熱条件の上限は84℃と決定することができる。そして試験した包装材料では、ピールシール強さは最大約5 N/15mmが包装材料の基本性能から決定されて、これ以上のピールシール強さの要求は難しいことを示している。

ピールシール強さの下限を3 N/15mmを選択するとすれば、溶着面温度をパラメータにした最適な加熱条件は Fig. 9-4 から80～84℃を決定できる。

9. 4. 3 最適加熱温度の現場への適用上の配慮

実機にこの結果を適用する場合には、適用されている包装材料の熱応答を“MTMS”

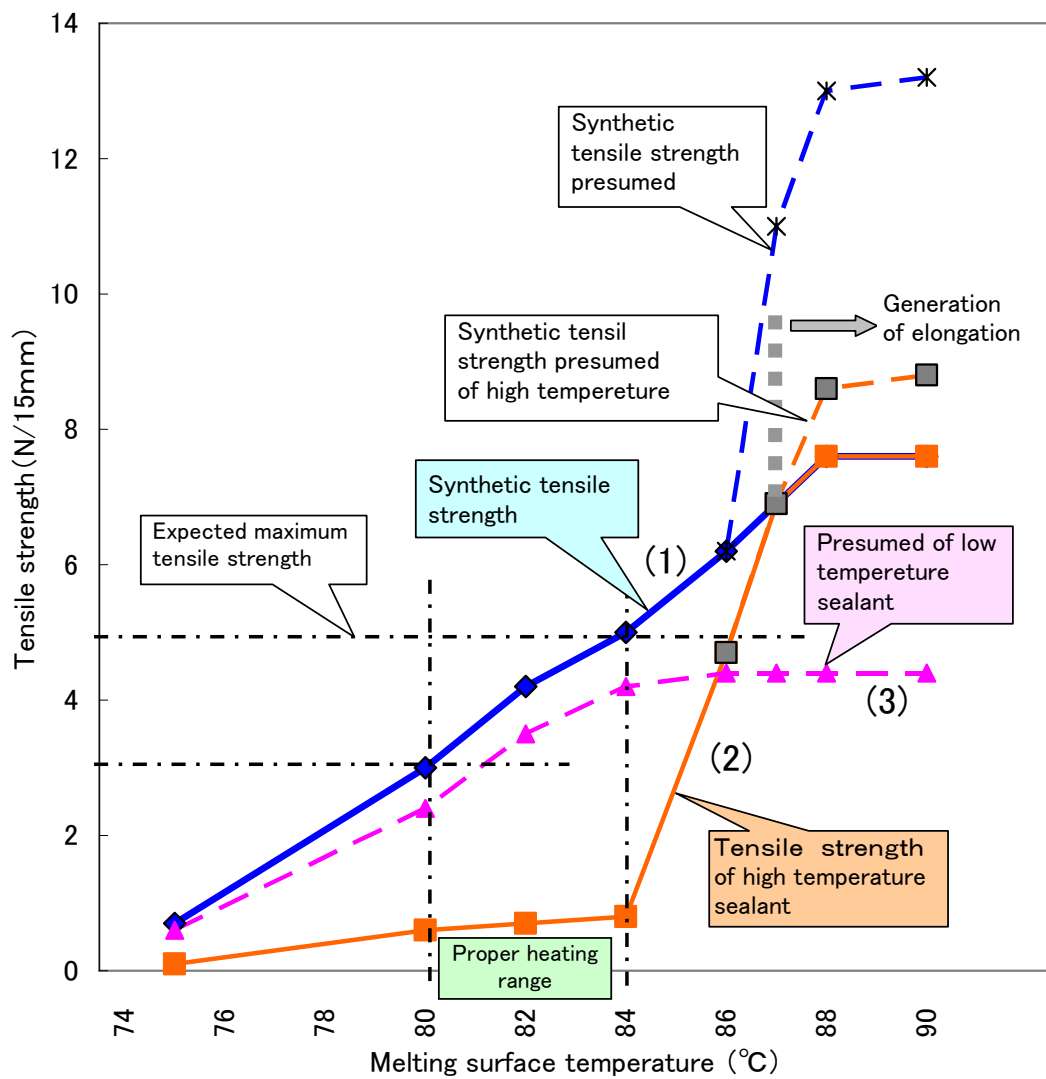


Figure 9-4 2 kinds of heat sealing characteristic found out from the tensile test pattern

で測定し、運転速度と加熱体の調節温度の最適な組み合わせを選択する必要がある。

本実験に使用した包装材料の商品では、折り重なっている部分が（3重×2箇所）のものもあり、6枚重ねの加熱条件の設定を要求している。（設定の詳細な方法は第12章の最適化加熱の事例で詳解する）

9. 4. 4 ピールシールにおける引張強さの変動の発生メカニズムの考察

ピールシールを格別に配慮していない包装材料においても、引張試験データを注意深く観察すると、Peel seal ゾーンの引張強さの応答に山谷の発生が観測され、高性能なイージーピール機能を付加した包装材料では、更に、大きく変動するのが特徴的である。

引張試験を詳細に観察すると剥離面には山谷に対応して Fig. 9-5(a) に示したような界面接着の剥離部位と低接着の部位の“横縞”状になっている。又剥離の進行中、十分に聞き取れる“ピチッ！”という音の発生が聴取できる。

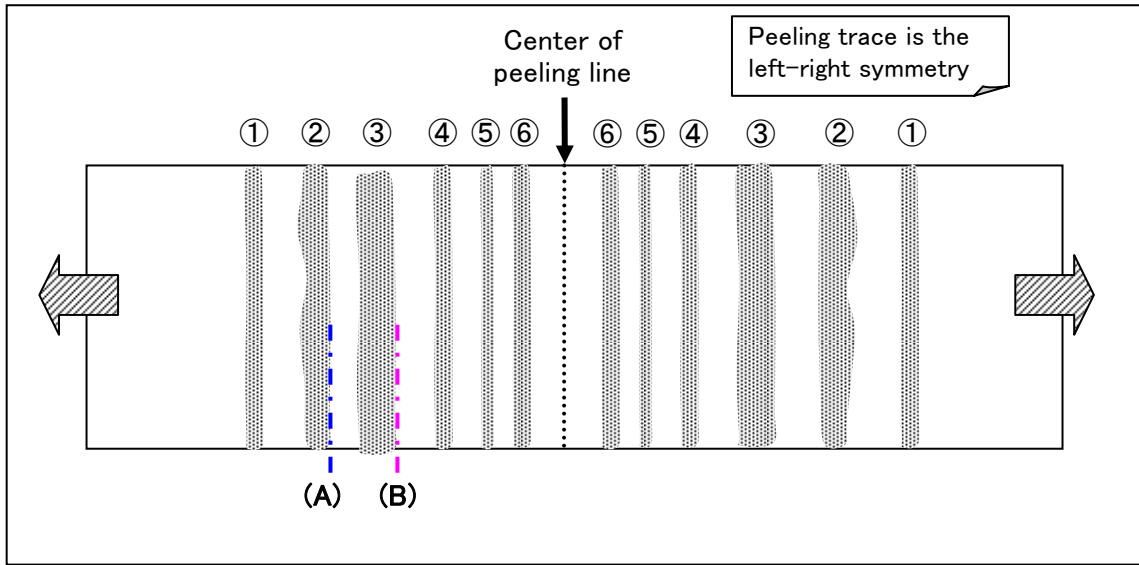
剥離中にかなり大きな不連続のエネルギー変換が発生していると推定される。

82℃加熱の引張試験の引張速度を超低速の0.8 cm/Min. として引張距離の分解能を0.02 mmに高めて、精密に測定した剥離応力パターンの一部を Fig. 9-5 (b) に示した。

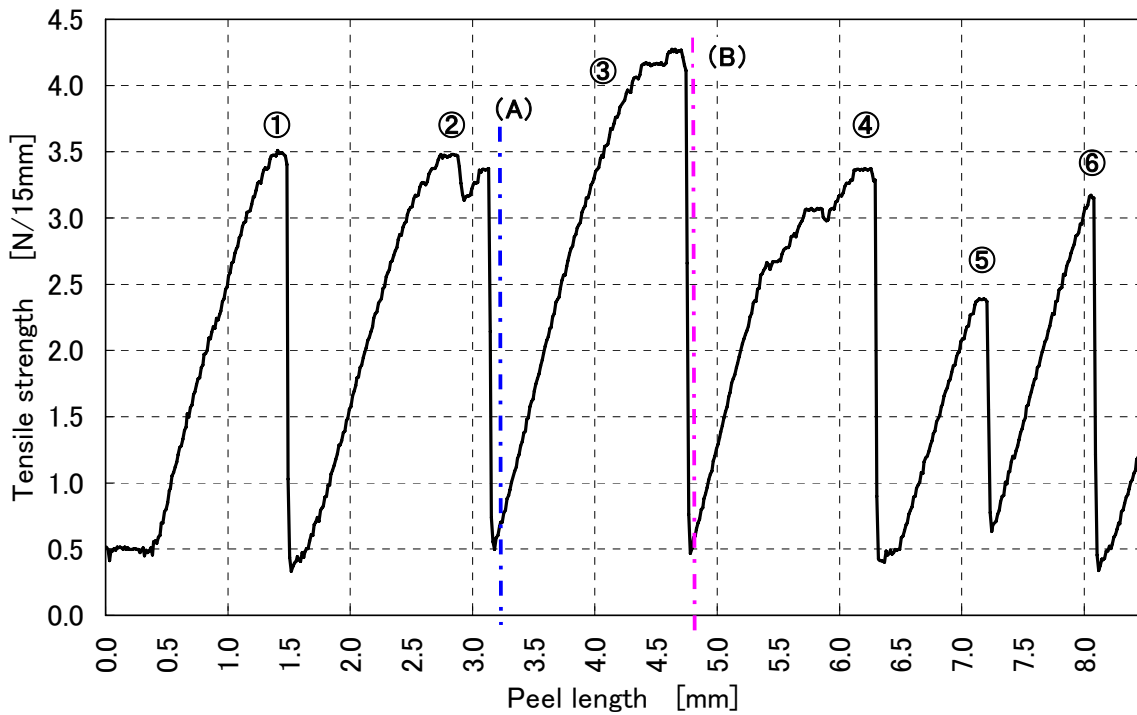
不連続の剥離は0.5～0.9 mmの引張毎に発生し、最大値から最小値への変化は0.02 mm（デジタルデータから計測）以内の引張距離で破断的に起こっている。

縞模様との関係を番号①～⑥及び(A)(B)と付して図の(a)と(b)の関係の観察をもとに作成した。Co-polymerには10%程度のエチレンが混入されているので、マクロに見ると引張応力線に10%の割合で“島状”の接着スポットが分布していると考えられる。そして、このスポットの溶着性の発現は温度にして、約9℃のバラツキを持っているので、引張線上の発生応力は不均一になる。これが応力パターンの不揃いのになると考えられる。共通なマイクロな引張距離（数10 μmと推定）と各スポットのばね定数（溶着部位の応力変形）の積算力が引張強さとして外部に現れる。

引張応力の負荷中（引張強さが連続的に上昇中）に各スポットの分担応力がスポットの結合力を超えたものは発熱して脱落する。脱落スポットが増加すると残存スポットの分担応力が急激に増加すると発熱量も増加して軟化も進み、応力面積が増加して、総合応力は増加するが、一定値を超えると部分的な破断が生じ、破断しないスポットへの分担応



(a) Banded peeling plane



(b) Tensile stress pattern measured at low speed and precisely

Figure 9-5 Tensile stress pattern measured at low speed and precisely

力が増加して、雪崩的に剥離が起こると推定した。 引張強さの最小値の熱溶着部位では溶着が未完成であるよう見られるが、0.5 N/15 mmのヒートシール強さが発現しており、シール性は分子レベルで確保されていると理解できる。

9.5 結論

- (1) 市場に出ているイージーピール包装材料を用いてイージーピールの評価方法を試みた。
- (2) 材料の引張強さの最大値と最小値を確認することで、イージーピール性能の評価ができることが分かった。
- (3) ピールシール機能の達成には母材の熱溶着が支配しない Peel seal ゾーン適用が必要であることが分かった。
- (4) 得られた知見は容易に製造現場に反映できるものである。
- (5) 容易な生産管理には Peel Seal ゾーンの広い包装材料（シーラント）の開発が望まれる

9.6 参考文献

- 1) ASTM Designation:F88-00, Fig. 4
- 2) G.L.Hoh: US Patent 4,346,196 (1982)
- 3) 菱沼技術士事務所：ホームページ URL: <http://www.e-hishi.com>
- 4) J I S : JIS Z 0238, 7.3
- 5) 大森 浩、第33回日本包装学会シンポジウム要旨集 p.33 (2004)

第10章 熱溶着（ヒートシール）機能の確認（2）

レトルト包装のヒートシールのHACCP保証法

10.1 緒言

HACCP(Hazard Analysis Critical Control Point System)は1960年代に宇宙飛行士の食中毒防御の抜本対応策構想として開発された。具体的な方策として、缶詰技術の金属容器をプラスチックのシート材に代えたレトルト包装は高信頼の無菌化包装技法と携帯の利便性の改善方法としてNASAによって開発された。日本では1969年頃からインスタントカレーへの適用が行われ民間レベルで発展していて、「総合衛生管理製造過程」により食品の製造の承認制度の対象になっている。¹⁾

レトルト包装では滅菌加熱の均一化を図るために薄手に仕上げるレトルトパウチの適用を特徴として発展し、現在では広くプラスチック資材を使った包装技法として展開されている。食品衛生法ではレトルト包装に次の性能を要求している。

- (a) 遮光性（油性食品の酸化防御）
- (b) 耐熱性（130～140℃の高温加熱の包装材料の変性、有害物の発生防御）
- (c) 耐圧縮強度（物流、貨物破損の防御；静的）
- (d) ヒートシール強さ [23N/15mm]²⁾（熱接着の完成保証）
- (e) 落下衝撃強度（物流、貨物破損の防御；動的）

(c)、(e)の性能は熱溶着（ヒートシール）の信頼性に依存している。しかし従来は、出来上がった当該製品のヒートシール強さ試験や荷重試験等の抜き取り検査によって事後に適否判断がなされている。²⁾

事後検査は製造システムの設計時の信頼性保証を前提としているHACCPの方針にそぐわないところがある。

本報告は、レトルト包装のヒートシール強さのHACCPの保証条件を第3章～第7章で論じた方法：

第3章 溶着面温度測定法

第4章 包装材料の熱特性の簡易解析と評価法

第5章 従来の加熱法の性能の評価

第6章 (剥がれシールと破れシールの識別法)

第7章 (剥がれシールの剥離エネルギーの活用)

を適用することによって、少量の当該包装資材のラボ試験で、レトルト包装の熱溶着（ヒートシール）の関連性能の〔事前〕評価を行った結果を提示する。

10.2 理論

10.2.1 レトルト包装のヒートシールのHACCPの対象事項

HACCPは1996年5月、食品衛生法及び栄養改善法の一部を改正する法律（1995年法律第101号）の施行により食品衛生法第7条の3に規定された「総合衛生管理製造過程」により食品の製造の承認制度で、現在、厚生労働省の承認対象は、5品目（乳・乳製品、食肉製品、レトルト食品、魚肉練製品、清涼飲料）が設定され、レトルト食品の包装は対象製品になっている。HACCPはHA（危害分析）CCP（重要管理点監視）の2つの部分から構成されている。レトルト包装における熱溶着（ヒートシール）の役割とHACCPの達成基準を対比してその達成方法を考察すると次の2項目に集約できる。

(1) 包装材料の熱溶着（ヒートシール）の達成の基本《4要素》の确实達成

(基本4要素は第4章4.1.1で提示済み)

- 1) 包装材料の溶着層の熔融温度を知る
- 2) 溶着層を熔融温度以上に加熱する
- 3) 適正加熱温度に到達する時間の制御
- 4) (ヒートシーラント、表層材料の) 過加熱温度範囲を掌握する

(2) レトルト包装の固有操作であるレトルト釜での高温加熱処理中の高温処理と内圧発生の対処と保証の確認

HACCPの基準要求に従って“複合起因解析”³⁾を適用して「該当項目」と対処方法を抽出して列挙するとTable 10-1のようになる。

HACCPの対処項目の事前の定量化評価ができれば熱溶着（ヒートシール）のHACCP管理の保証が可能となる。

Table 10-1 Extraction of a demand of HACCP of the heat sealing by "The composition origin Analysis"

HACCP Principles	Managing Components	Apply "MTMS" in HACCP	
Hazard Analysis	Grasp of a "inconvenience" factor of a heat seal	Apply "The Composition Origin Analysis"	
	1.Packaging Materials	<ul style="list-style-type: none"> •Fusing Temperature •Heat Capacity •Heat Degeneration •Heat Seal Strength 	<ul style="list-style-type: none"> •Date Analysis of Melting Surface Temperature •Get Heat Seal Strength on Melting Surface Temperature Base
	2.Facilities	<ul style="list-style-type: none"> •Ability of Operation Speed •Heating Temperature •Flat Press •Self Diagnosis 	<ul style="list-style-type: none"> •Guarantee for Surface Temperature of Heat Jaw Every Facility •Measure of Melting Surface Temperature Every Parts •Matching of Condition Material and Facility
	3.Operation Conditions	<ul style="list-style-type: none"> •Number of Production Plan •Operation Speed •Setting for Management Value •Stick to Heat Sealing Surface 	<ul style="list-style-type: none"> •Matching of Condition Material and Facility •Not Require Assist of Operator Every Commencement of work •Control "Liquid Drop" , "Powder Dancing" •Extension of Heating Time
Critical Control Point	•Confirmation of Fusing Temperature	•Apply "MTMS" System	
	•Setting for Right of Heating Range	•Apply "MTMS" System	
	•Grasp of Surface Temp. of Heat Jaw	•Measure of Melting Surface Temp. Only Sensor	
	•Setting for Right of Flat Press Pressure	•Measure of Melting Surface Temp. of Wet Paper	
•Control for Stick to Heat Sealing Surface	•Control "Liquid Drop" , "Powder Dancing"	•Extension of Heating Time	

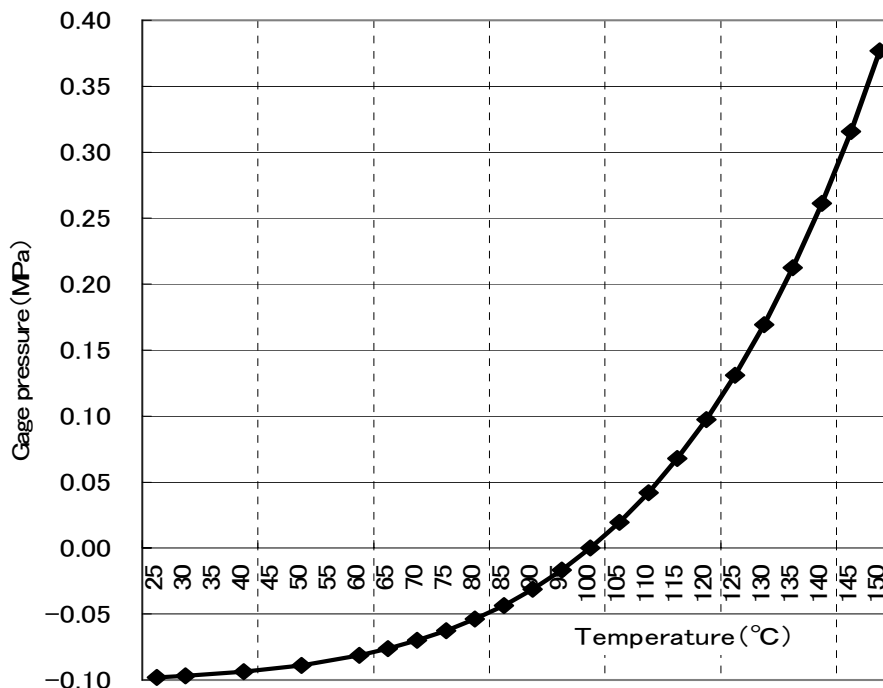


Figure 10-1 Temperature and steam pressure of the water ⁴⁾

10. 2. 2 レトルト包装における加熱の特徴

レトルト製品は以下のプロセスで処理される。

- (1) プラスチックの包装材料（パウチ）に製品を充填
- (2) 充填口を熱溶着（ヒートシール）で封緘
- (3) 加圧高温加熱
- (4) 冷却
- (5) 除水、包装

(3)、(4)の処理が通常の熱溶着（ヒートシール）包装製品と異なるところである。

レトルト滅菌では加熱温度が120～130℃が使われる。この温度帯の水分は常圧では気化するので（Fig. 10-1 参照）、加熱温度に相当する蒸気圧以上の精密な加圧制御が必要である。加熱によるパウチ内の温度上昇速度は加熱の熱供給能力とパウチ内の充填物の熱容量によって決定される。加熱速度と冷却速度を熱容量によって決まる応答速度より遅くすれば問題は起こらないが、加熱／冷却操作を遅くすると充填物の熱劣化が大きくなるのと生産性が悪くなる。実際には、加熱時に大量の熱を供給し、予測制御（Feed Forward）によってパウチ内の温度上昇を早める“カムアップ”を行っている。加熱終了後は冷水を外部から強制循環して冷却している。これらの操作中は設定加熱温度の蒸気圧に相当する圧力以上の加圧環境を制御によって作り出されている。

レトルト滅菌中の圧力は

$$[\text{パウチ内圧}] \leq [\text{パウチ外圧} (= \text{レトルト釜内圧})]$$

に制御する必要がある。

レトルト加熱／冷却処理における釜内の圧力とパウチ内の圧力差の変動の様子を Fig. 10-2 に示した。この図では圧力の調節が上手く行かず、不具合が発生する様子を示した。熱溶着（ヒートシール）の役割としては以下の2点を保証することになる。

- (1) 加圧制御が失敗した場合に推定される圧力差（内圧－外圧）による引き裂き応力に耐えるヒートシール強さ
 - (2) レトルト温度帯において熱溶着面が熱軟化を起こさないヒートシーラントの温度設計
- 実際にレトルト処理がされた際、レトルト温度帯で充填物とヒートシーラントが熱反応して膨潤を起こす例がある。本研究ではこのケースの対処には触れない。

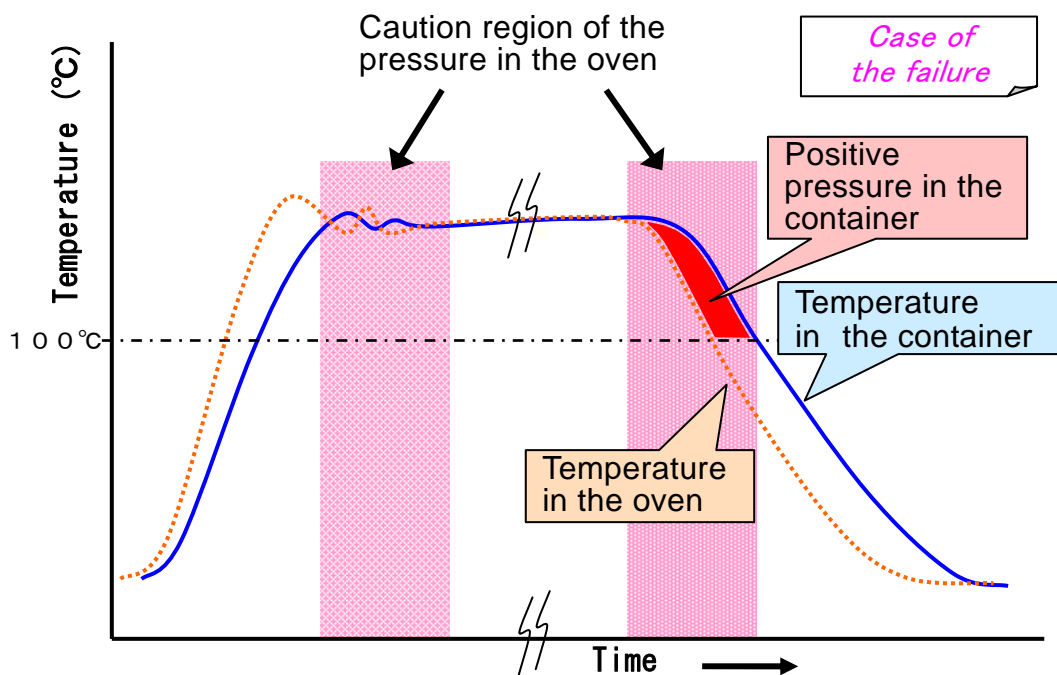
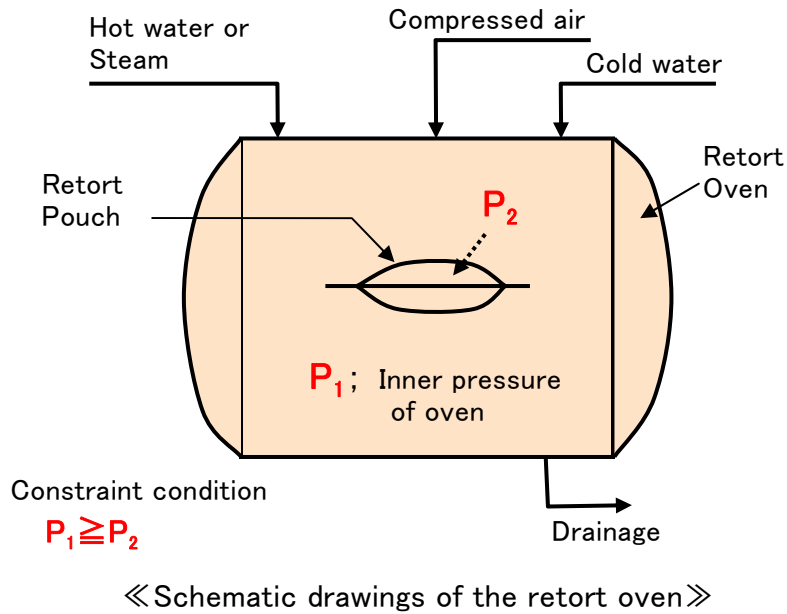


Figure 10-2 Behavior of temperature in the retort oven and temperature in the container

10.3 実験

10.3.1 HACCP確認項目と目的

Table 10-1 のHACCP [該当項目] を第3章～第7章で論じた方法を適用して[対処方法] の確認を行う。 確認目的と反映は以下の通りとした。

- | | |
|---------------------------------------|---|
| (1) [液状化]溶着温度 (°C) | ・ Tear Seal 温度帯のデータ採取
・ 過加熱データ採取 |
| (2) 溶着面溶融開始温度 (°C) | ・ Peel Seal 開始温度のデータの採取
・ レトルト温度帯とのオーバーラップの確認に適用 |
| (3) レトルト温度と溶着面溶融開始温度との差 (°C) | ・ 包装材料のレトルト温度帯のオーバーラップの余裕の確認
・ HACCPの [HA] 保証情報 |
| (4) 推奨溶着面温度範囲 (°C) | ・ HACCPの [HA] 保証情報 |
| (5) ヒートシール強さ (N/15 mm) | ・ HACCPの [HA] 保証情報 |
| (6) 溶着面温度の調節目標値 (°C) | ・ HACCPの [CCP] 保証情報 |
| (7) 資材の溶着面温度応答 (テフロンカバー) 95%応答 (sec.) | ・ 資材の熱容量のデータ採取
・ HACCPの [CCP] 保証情報 |
| (8) 適正最高運転速度条件 | ・ HACCPの [CCP] 保証情報 |

10.3.2 確認に使用した包装材料のリスト

本研究の検証に使用した包装材料は代表的な包装材料メーカー（5社）が既に市場に供給しているものを当該メーカーから供給を受けた。

包装材料の構成仕様の一覧は Table 10-2 に示した。

サンプルの素材構成の目的をコード番号の[C-d]を例に説明する。

PET12	/	ON15	/	AL7	/	GPP70
↓		↓		↓		↓
表層材 印刷材 受応力材		柔軟性 受応力材		ガスバリア 紫外線バリア		ヒートシーラント 破袋応力の受材

Table 10-2 Material composition of retort able pouch used for the experiment

Sample Code	Supplier	Composition
A	A P	PET12 μ m / AL7 μ m / CPP70 μ m
B	T Y	PET12 / AL7 / CPP70
C - a	D N	PET12 / AL7 / CPP70 (1)
C - b		PET12 / AL7 / CPP70 (2)
C - c		PET12 / AL7 / CPP70 (3)
C - d		PET12 / ON15 / AL7 / CPP70 (1)
C - e		PET12 / ON15 / AL7 / CPP70 (2)
C - f		PET12 / ON15 / AL7 / CPP70 (3)
D - a	F M	PET12 / AL7 / CPP70
D - b		PET12 / AL7 / NYL15 / CPP80
E	M K	SPR15 / CPP70
F		PET12 / TCB-NR15 / CPP60
G		PET12 / TCB-T12 / CPP60

本研究の場合は主にヒートシーラント（熱溶着層）の熱溶着（ヒートシール）特性の測定とHACCP対応性の測定と評価を行った。

10.4 結果と考察

10.4.1 パウチ包装材料の固有熱特性の測定結果

市場にレトルトパウチを提供している各社から提供して戴いた実パウチを「MTMS」キットを用いて下記の測定を行った。

- (1) パウチ包装材料の固有熱特性（溶着温度、熱変性点）
 - (2) 溶着発現ゾーンの溶着面温度基準のヒートシール強さの測定
 - (3) 加熱体の表面温度の変動に対する溶着面温度と包装材料の表面温度の上昇応答を測定
- サンプルコード[A]の(1)(2)の熱変性（1次、2次）、JIS法のヒートシール強さと「角度法」の引張強さの測定結果を統合して Fig. 10-3 に示した。

サンプルコード[A]の(3)の溶着面と表層面応答の測定の結果の統合データを Fig. 10-5 に示した。表面温度の上限の破れシール（Tear Seal）が発生する温度帯を第6章で提示した「角度法」で定性した。各メーカーから実験に提供していただいた全サンプルの溶着面温度ベースのヒートシール強さの測定データ一覧表を Table 10-3 に示した。

材料構成が同様でも各メーカーによって特性がかなり異なっていることが分かる。

10.4.2 熱特性の測定結果の集約

[9.4.1]の各パウチの包装材料の固有特性（静特性）の測定結果の内4点の代表データを[9.3.1]で提示したHACCP評価の対象項目に合わせたデータを Table 10-4 に整理して示した。各項目の実験結果に細部の説明と考察を次項で述べる。

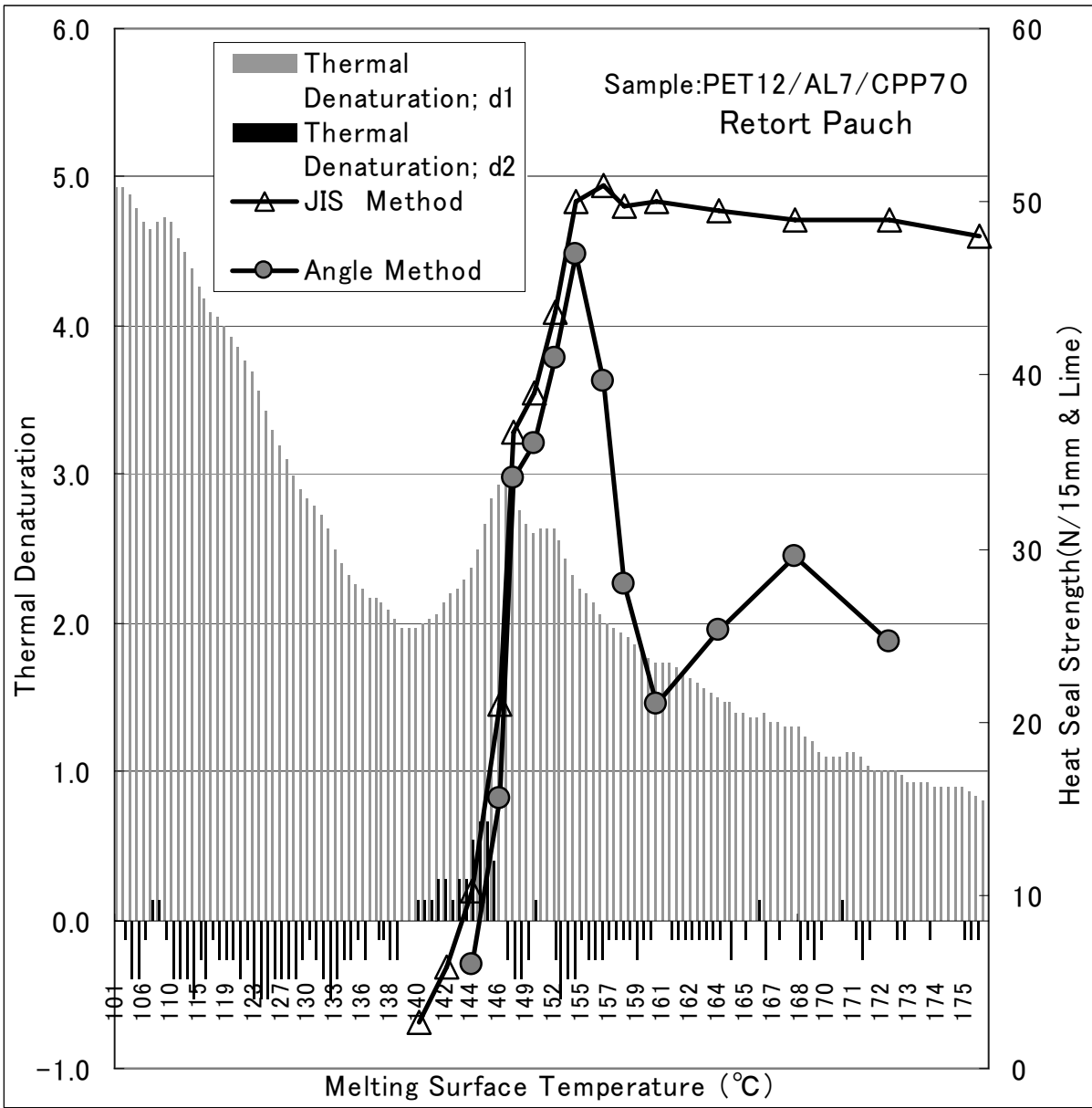


Figure 10-3 Measuring example of heat characteristic and heat sealing intensity of heat sealing of retortable pouch.

Table 10-3 Heat sealing characteristic of marketed Retortable pouch

Melting Surface Temperature (°C)	Sample code												
	A	B	C-a	C-b	C-c	D-a	C-d	C-e	C-f	D-b	E	F	G
130						..... 1				..... 0			
131													
132													
133						7				8			
134	.....			.....					
135						13				10			
136													
137						42				29			
138								.....		.....
139			.....		.....		.....		.....			.....
140	5	.....	2	9	2	52	1	7	7	64	6.1	14	14
142	9	3	4	17	3	54	2	12	3	70	12	30	26
144	11	4	8	23	7.5	57	9.5	23	6.8	75	21	31	28
146	23	8	19	36	17	57	12	29	20	78	22	33	29
148	38	27	35	38	41	58	28	33	43	77	33	38	40
150	46	39	50	45	44	58	47	28	67	77	36	38	52
152	47	50	52	46	46	59	58	50	71	76	41		50
154	53	56	56	55	53	63	67	63	75	78	45		51
156													
160	49	52	57	54	57	61	76	69	72	74	48	47	50
162													
165	50	53	56	58	57	63	80	68	78	72	48	54	54
170	48	58	64	63	62	61	81	71	82	72	48		65
173													
175	48	54	63	61	62	60	83	68	79	73	51	48	59
180	50	51	59	63	58	61	77	66	82	72	49	49	59
182													
The material composition	PET12/AL7/ CPP70						PET12/ON15/AL7/ CPP70			Composite material of the nylon			
	Peel seal range			Tear seal range			Edge break range						

Table 10-4 Transfer list case of the measurement result to the HACCP evaluation item

	A sample code/Material composition				
	PET12/AL7 CPP70		PET12/ON15 AL7/CPP70	PET12/AL7/ NYL15/CPP80	SPR15/ CPP60
	A	B	C-d	D-b	E
Fusing temperature [liquefaction] (°C) ※1	148	150	150	140	150
Starting Melt Temperature (°C)	140	144	143	132	137
The difference of retort and melt start temperature (°C) ※2	19	23	22	11	16
Qualitative of start Temperature of the thermal denaturation ※3	165	165	170	175	165
Melting surface temperature range to recommend (°C)	147~160	147~160	150~165	140~160	148~160
Heat Sealing Strength (N/15 mm)	39~53	39~56	45~80	64~78	33~48
Regulation target value of melting surface temperature (°C)	154	154	157	150	154
The proper highest speed Pressing time / Max. heating Surface temperature (sec./°C) ※4	(Sec.) (°C) 0.42 / 203	0.42/203	0.47/205	0.50/203	0.2/203

※1 ; It is based on the heat characteristic measuring method of "MTMS"

※2 ; [(Melting start temperature) – 121°C]

[Melting start temperature] ; Melting surface temperature to which the
heat-sealing strength of ≒ [5N / 15mm] appears

※3 ; By the Angle Method

※4 ; Teflon covered thickness of 0.1mm

10. 4. 3 各測定項目の説明と考察

(1) 各パウチ包装材料の熱特性の測定を次の4項目で行った。

- 1) 第4章で提示した「簡易解析／評価法」を用いて熱変性を測定して変曲点の定性を行った。
- 2) DSC（示差走査熱量計）測定は外部委託で計測した。
- 3) ヒートシール強さはJIS法によった。
- 4) 破れシール（Tear Seal）ゾーンの定性は第6章で提示した「角度法」によった。

サンプルコード [A] のこれらの測定結果は Fig. 10-3 に示してある。

この材料の熱変性点は引張試験の結果と対比してみると以下のところにある。

- ① 139℃付近に溶融開始
- ② 143℃付近に1つ目の変曲点③ 147℃付近に2つ目の変曲点
- ④ 150℃付近に溶融完了点
- ⑤ 溶融後、160℃、165～168℃、170℃付近にも大きな熱変性がみられる。

DSCの測定結果からは上記のような細部の特性を見出すことは困難であった。熱特性の定性において本研究の有用性が確認できた。139℃から150℃の熱現象と熱溶着の関係を詳しくみると、ヒートシーラント成分の1番目が143℃付近に溶融完了温度を持つもの、2番目が148℃付近に溶融完了温度を持つもの、3番目が150℃付近に溶融温度を持つ3種のヒートシーラントが混合されていることが推定できる。メーカーのシーラント素材の詳細な組成は明らかでないが、PPのシーラントとしてはCo-polymerを用いており、Peel seal 温度領域の拡大を図っていることが推察できる。

材料構成の表示が同じでもこの Peel seal ゾーン立ち上がり特性は各社まちまちであるので、使用に際しては留意が必要である。160℃から170℃の熱変性の変曲点はラミネーションの接着剤の熱変性、未重合成分の気化、表層材の熱変性の開始等と推定できるが、発生している個々の現象と温度の対比は、本実験からの確定は困難である。

「角度法」法による破れシール（Tear seal）の定性では、158℃付近からエッジ切れが顕著に発生している。エッジ切れはピンホールや破袋の原因となるのでこのゾーンの適用には留意を要することを示唆している。

10.4.4 各測定項目のHACCP管理値への反映

10.4.4.1 静的熱特性からHACCP指標の設定

前項では包装材料の固有特性（静的特性）の考察を行った。

サンプルコード [A] の加熱の静的特性のHACCP管理指標へ移転すると以下のようになる。

* 溶融開始温度（ヒートシール強さが 5N/15mm超）；140℃

* レトルト温度と溶融開始温度の差； $\Delta T = 19^\circ\text{C}$

（レトルト温度を121℃とすると）

* ヒートシーラントの液状化温度；150℃

* 加熱上限溶着面温度；160℃ [「角度法」試験データから]

* 推奨溶着面温度範囲；147～160℃ [剥離エネルギーとヒートシール強さ；
[25N/15mm] 以上とエッジ切れ発生の下限温度から]

* 表層材の熱変性温度170℃

* 溶着面温度の調節目標値；154℃（推奨範囲の中央）[±6.5℃]

10.4.4.2 加熱温度と加熱時間の選択

Fig.10-4にはヒートシール強さ／溶着面温度の基本データにヒートシールのHACCP保証に必要な3点の制約条件；

- ①レトルト温度と溶着面の軟化温度のオーバーラップ是非
- ②レトルトのHACCPの規定の（25N/15mm）の保証
- ③ピンホール、エッジ切れの発生のリスクのある過加熱の回避

を加味した表示をした。過加熱の条件はサンプルコード [A] を表示している。ヒートシール強さのグラフが3点の制約条件とオーバーラップしない領域が加熱の適正領域となる。適正範囲の確認はできたが、実際の加熱温度と加熱時間の設定はこの結果からはできない。包装材料の熱容量から決まる溶着面温度応答のデータから動的条件の選択が必要である。Fig.10-5のデータから溶着が達成される加熱温度は表層部を含めて過加熱が起こる加熱温度を考慮して選択をする。過加熱温度は被加熱部の表面温度が制限温度超えない加熱温度を上限に選ぶ。

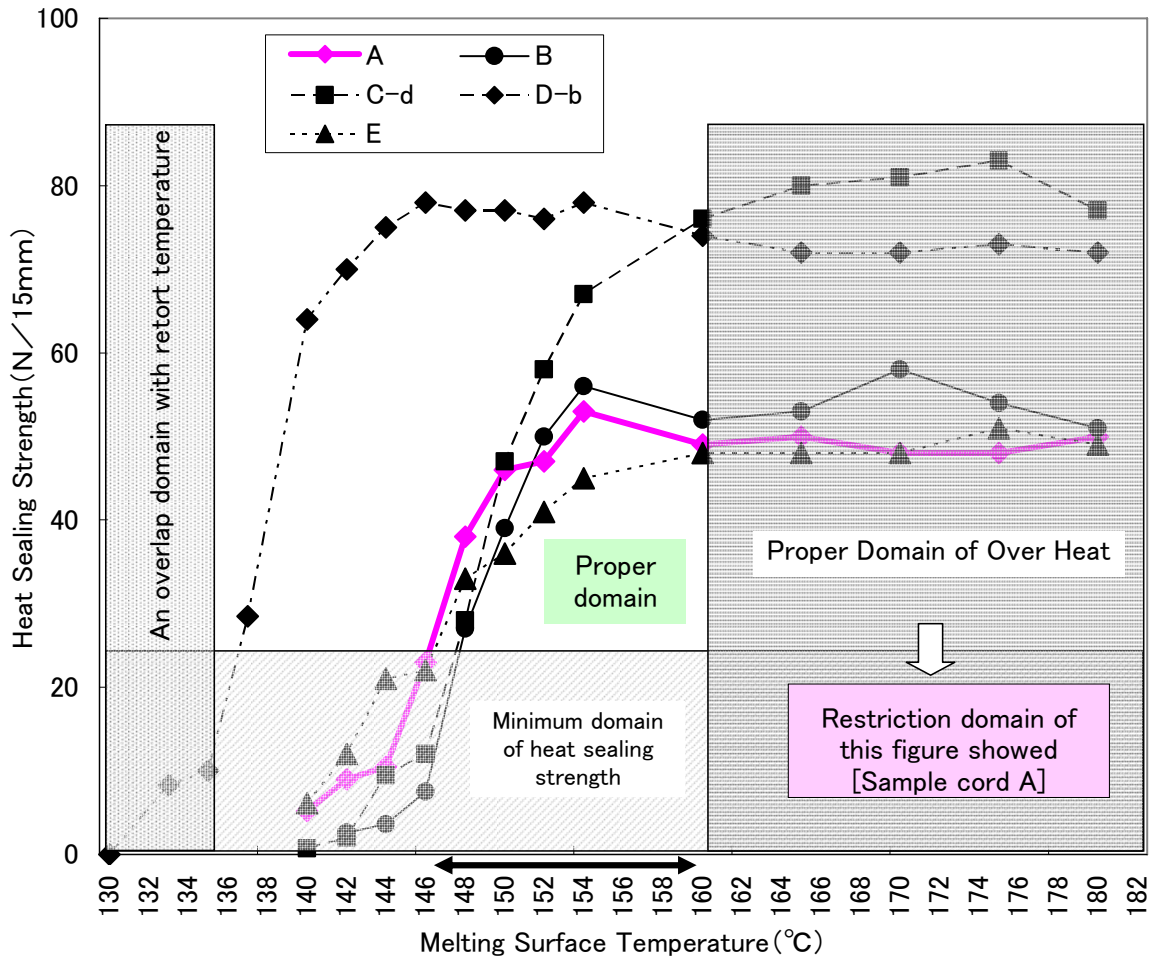


Figure 10-4 Presentation of the optimum region of the thermal condition in the retort packaging

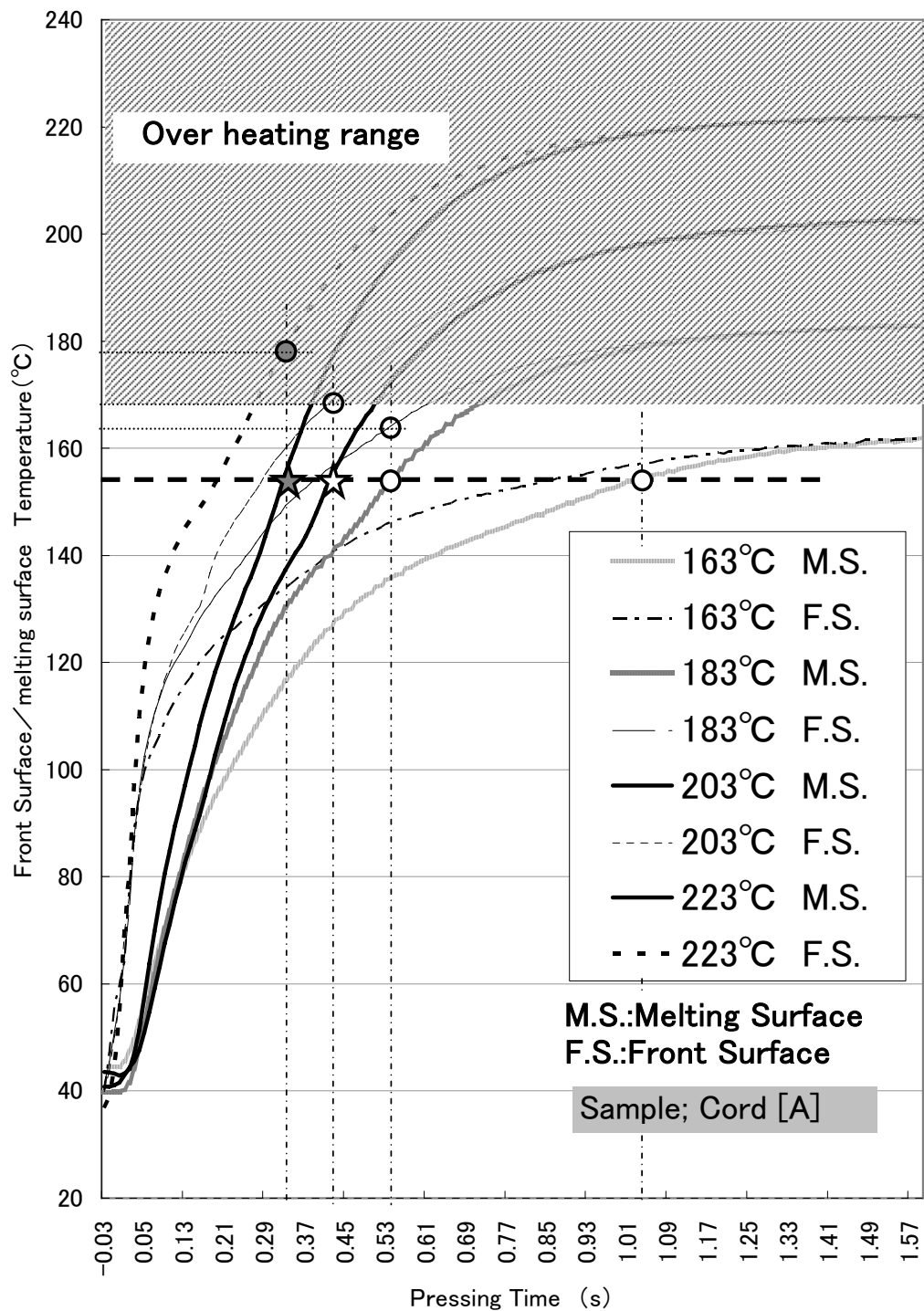


Figure 10-5 Measuring example of the response of melting surface temperature and surface temperature of material

加熱温度が223℃の場合では圧着時間が0.35秒で目標の溶着面温度の154℃が得られる。この時のパウチ包装材料表面温度は179℃を示している。

この温度は表層材等の熱変性が見られる170℃を超えており、配慮の対象温度になっている。加熱温度が203℃の場合は0.42秒で154℃が得られる。この時の表層材の温度は169℃であり、表層材等の熱変性の上限温度帯になっている。183℃では0.54秒となり、表層温度は164℃で制限温度以下になっている。

この結果、動的な加熱条件は加熱体の表面温度の上限は203℃と決定することができる。加熱時間が長くなるが、163～170℃付近の加熱条件を選べば、表層材のオーバーヒートは回避され、熱溶着（ヒートシール）の加熱の信頼性は極めて高くなる。

以上の結果からレトルト包装の熱溶着（ヒートシール）のHACCPの保証に必要な全ての項目がラボベースで確認できた。

10.5 結論

- (1) 熱溶着（ヒートシール）の最高の性能が要求されるレトルト包装のヒートシールのHACCP保証に本研究の基本技術が的確に適用できることが分かった。
- (2) HACCP視点でレトルト包装のヒートシールの静的管理要素として以下の項目抽出と計測法を確立した。
 - 1) 溶融開始温度（ヒートシール強さが5N/15mm超）
 - 2) レトルト温度と溶融開始温度の差（レトルト温度を121℃とすると）
 - 3) ヒートシーラントの液状化温度
 - 4) 加熱上限溶着面温度（「角度法」による）
 - 5) 推奨溶着面温度範囲；（剥離エネルギー、ヒートシール強さ保証とエッジ切れ発生の下限温度から）
 - 6) 溶着面温度の調節目標値；（推奨範囲の中央）
- (3) 「レトルト温度」、「下限ヒートシール強さ」、「表層材の熱変性」のレトルト包装の3要素の関係をビジュアル化した「**運転条件の制限マップ**」を提案した。
- (4) 3要素の制限マップから選択された運転ポイントの加熱温度と運転速度の動的条件の設定方法を提案した。

- (5) 本提案は、レトルトの溶着開始ゾーンの診断事項を除けば、全てのヒートシールの HACCP 的（高信頼化）評価方法に適用できる。

10.6 参考文献

- 1) 食品衛生法施行令第 82 号：第 1 条、平成 9 年 3 月 28 日
- 2) JIS Z 0238 : 7. 袋のヒートシール強さ, 1998 年
- 3) 菱沼技術士事務所ホームページ、URL: <http://www.e-hishi.com/gamm.html>
- 4) 大江修造：物性推算法、URL: <http://s-ohe.com/index.htm>

第 11 章 熱溶着（ヒートシール）機能の確認（3）

1 条件測定データから任意条件の適正溶着面温度への拡張のための シミュレーション法の検討

11.1 緒言

熱溶着（ヒートシール）は溶着面の熔融温度以上の加温によって完成する温度依存型現象である。熱溶着（ヒートシール）において最適な加熱条件を設定するためには、熔融温度以上の加熱と熔融温度に到達する圧着時間の組み合わせを要求している。

熱溶着（ヒートシール）におけるヒートシーラントの溶着面温度は

- (1) 被加熱材の熱容量（厚さ、材料）によって溶着面温度応答は変化する。
- (2) 加熱体の温度変更で溶着面温度応答は変化する。

この様子を Fig. 11-1 に示した。

加熱温度情報のサンプル毎の溶着面温度応答は、溶着面温度法¹⁾（第 3 章）を適用することによってラボベースで容易に、かつ確実に取得できる。溶着面温度の応答時間を容易に比較するためには、加熱の初期温度を同一にしておく必要がある。初期温度を常温付近に調節するのは容易であるが、常温から 20℃以上離れる低温、高温領域では試験片と共に試験装置も試験温度環境におく大掛かりな恒温装置が必要である。更に 100℃以上の初期条件の設定は困難が伴う。

本章では、室温での 1~2 ケの溶着面温度の応答データを採取して、そのデータを使った任意の始終点温度の溶着面温度応答をパソコン上でシミュレーションできる方法を検討する。そして、熱溶着（ヒートシール）の「最適加熱範囲」の診断、設計ツールに応用できるように検討する。

11.2 シミュレーション論理の検討と構築

11.2.1 熱溶着（ヒートシール）の熱伝達系の電気回路への置き換え

被加熱材の熱容量と熱伝導能力は独自に存在するので、温度上昇は時間の関数となる。

ヒートシール時の熱挙動をシミュレーションする方法について説明する。熱源を容器に

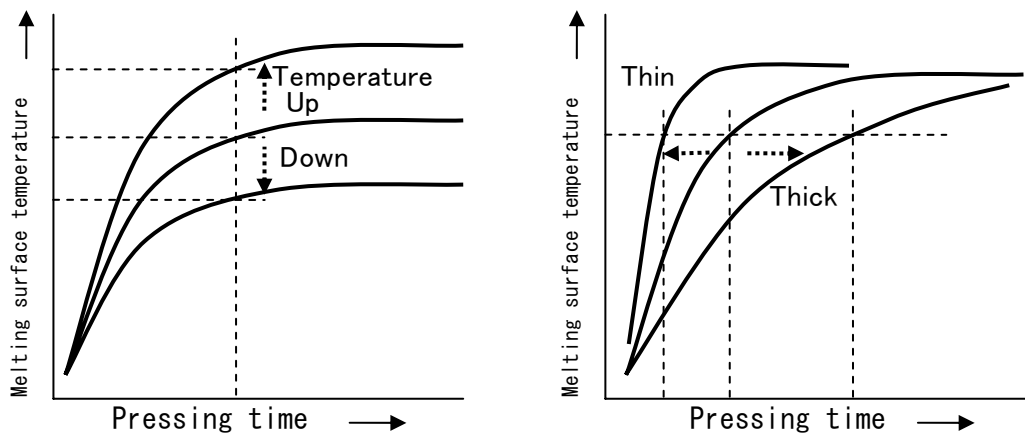


Figure 11-1 Fundamental response of the melting surface temperature in the heat sealing

入った液体の液位、複数の熱特性の異なる材料のそれぞれの熱容量を口径の異なる容器、材料間の熱流に影響する要素を径の異なるパイプとすると、**Fig. 11-2(a)**のように模式化できる。容器の断面積が電気回路の「容量：C」、パイプの口径を「抵抗：R」に置き換えることができるので、**Fig. 11-2(b)**に示したようにR/Cの1次遅れ回路として現すことができる。

この回路は入口端から出口端の間をブラックボックスとして扱くと**Fig. 11-2(c)**に示したように一対のRCで構成された回路に近似できる。

熱移動現象の動的解析には熱伝導能力を電気抵抗、熱容量を電気容量に置き換えた「過渡現象論」が工学的には良く使われる。「過渡現象論」では印加電圧と回路内の電流の関係を論ずるが、熱溶着（ヒートシール）系では電圧/加熱温度、電流/熱流に置き換えて論ずることができる。「過渡現象論」では印加電圧によって回路定数（抵抗や容量値）が変動しない「線形」現象として取り扱われる。しかし、プラスチック材料では加温によって熱的に材料の分子構造が変化する、「軟化」、「溶融」、「ガス化」の不連続現象（非線形）が発現するので一元的には「過渡現象論」を展開できない。

又、熱伝導現象を熱伝導値（電気抵抗）や熱容量値（電気容量）を具体的な数値として表現しにくい。本研究では、系の熱応答の定数を直接求めるのが目的ではないので、過渡現象論では回路の定数（CR）が変化しなければ、応答の変化は印加電圧のみによって決定されるとしている。即ち各時間の応答値は電圧の大きさに比例することになるので、加熱温度の変更割合を各電圧データに乗じることによって容易に任意の温度の応答曲線が得られることを検討する。そして、基本となる応答曲線を溶着面温度測定法（“MTMS”）の高速/高精度の温度測定機能を利用して、1～2個を採取することによって、容易に任意に設定した初期温度と最終加熱温度をパソコン上でシミュレーションする方法を検討する。

本研究の成果は、初期条件の異なる使用温度環境での熱溶着（ヒートシール）の加熱条件の適正設定や2段加熱のような高温域での加熱温度の切り換え操作の適正性を評価するためのシミュレーションに利用できる。更に設計段階で包装材料の熱溶着（ヒートシール）の応答測定点を簡易に測定できるので、機械設計の速度設定の事前検証にも活用できる。

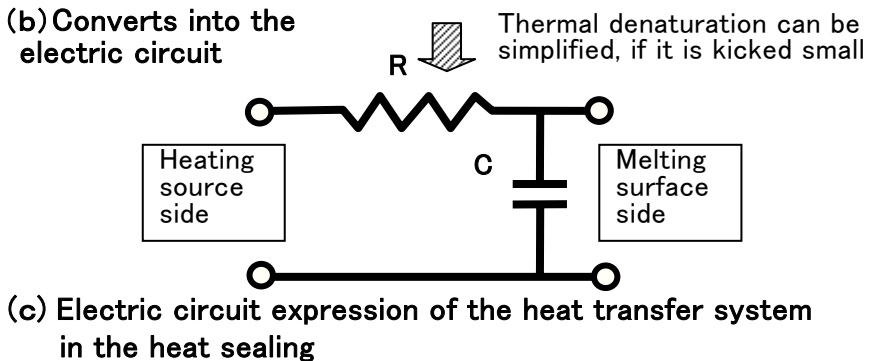
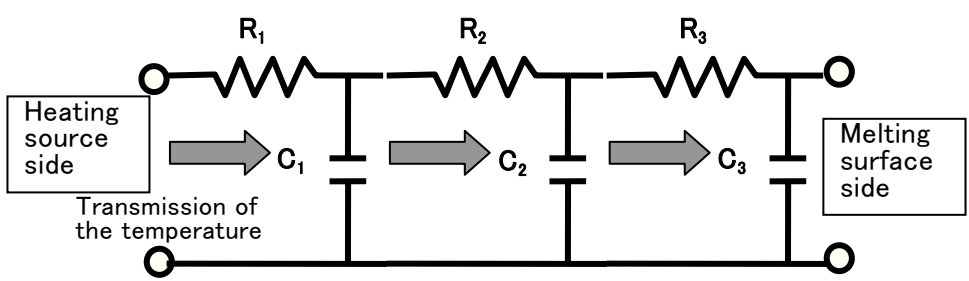
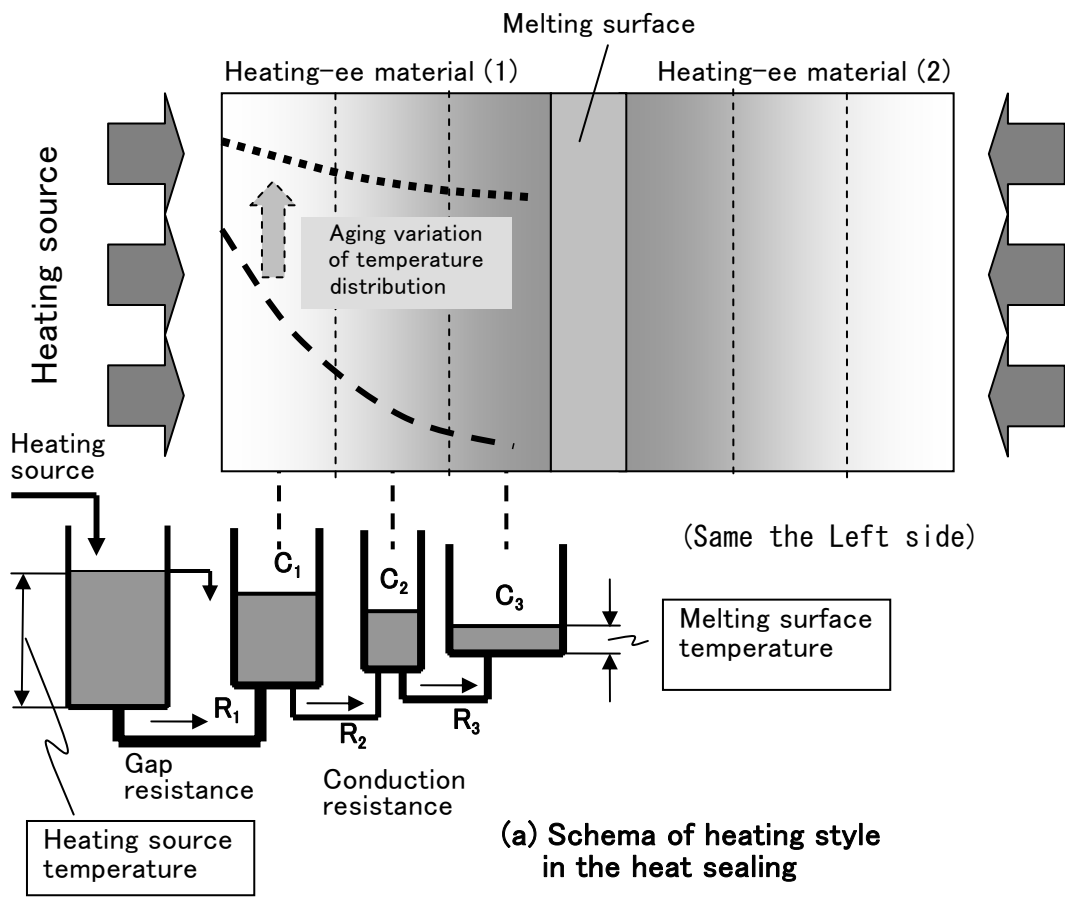


Figure 11-2 Electric circuit simulation expression of the heat transfer system in the heat sealing

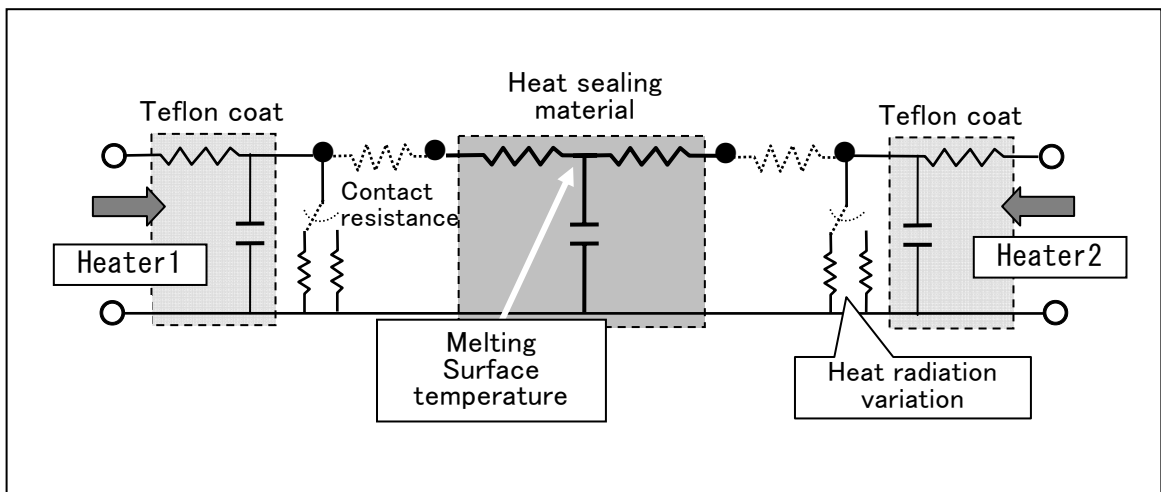


Figure 11-3 Electric circuit simulation of the melting surface temperature response in the heat sealing

1 1. 2. 2 熱溶着（ヒートシール）系の応答変化の発現要素の分類

加熱系の応答に関係する要素を列挙すると次のようになる

- (1) 包装材料 ; ・包装材料の種類、・厚さ、・ラミネーション方法
- (2) 発熱系 ; ・発熱容量、・発熱部位、・加熱ブロックの材質、・加熱ブロックの容積、・加熱ブロックの形状、・加熱ブロックの保持方法
- (3) 加熱系 ; ・表面よりの放熱、・加熱ブロックの待機位置（輻射熱の相互干渉）、・両面加熱温度（同一、別個）、・片面加熱、・加熱体の密着性（圧着圧）、・加熱体へのカバー材の設置、・加熱繰り返し速度

熱応答の変化を解析するには熱流を電流、温度値を電圧に置き換えて電気回路の過渡現象で置き換えると数式的な証明が容易になる。

物体に熱を加えたときの伝熱応答は1次遅れの過渡現象として表現することができる。上記の代表的な要素の相互関係の相似電気回路を Fig. 11-2 の設定に基いてシミュレーション回路を作成すると Fig. 11-3 示したようになる。

1 1. 2. 3 熱伝導系のステップ応答の特性の利用

Fig. 11-2(c)に熱伝導系を簡略化した回路を示した。

C : 熱伝導系の熱容量

R : 熱伝導系の熱流の抵抗

と定義して、加熱源温度を $\ll E_i \gg$ 、熱流を $\ll i \gg$ 、溶着面温度を $\ll V_c \gg$ として、

$\ll E_i \gg$ と $\ll V_c \gg$ の関係を数式で表すと次のようになる。

$$i = dq/dt = C(dV_c/dt) \quad (1)$$

$$VR + VC = E_i \quad (2)$$

$$CR(dV_c/dt) + V_c = E_i \quad (3)$$

$$dt/CR = -dV_c/(V_c - E_i) \quad (4)$$

(4)式を積分すると

$$(t/CR) + F = -\log(V_c - E_i) \quad (5)$$

$$V_c = E_i + e^{-[(t/CR) + F]} \quad (6)$$

初期条件 $t = 0$ とすると

$$E_i + e^{-t/CR} = 0 \quad \text{から} \quad (7)$$

$$V_c = E_i (1 - e^{-t/CR}) \quad (8)$$

《 E_i 》をステップ状に印加すると横軸が時間、縦軸が温度の経時変化を表したステップ応答が得られる。熱溶着（ヒートシール）の加熱操作は一定温度の加熱体を瞬間的に圧着するので、ステップ応答に相当する。

演算式(8)に注目すると、溶着面温度《 V_c 》は時間に関して指数関数的に変化することを示しているが、カッコ内の指数関数のパターンは《 $1/CR$ 》の定数で決定されていることが分かる。もし加熱によって《 CR 》が変化しなければ溶着面温度の応答パターンは単純に《 E_i 》に比例する指数関数パターンで表すことができる。この説明を Fig. 11-4 に示した。

このことから、1本の溶着面温度応答を《“MTMS”キット》で採取すれば、《 CR 》の項を含んだデータを採取できることになる。

11.2.4 線形応答として扱える熱変性の小さい材料の

シミュレーション方法

薄手のフィルム、TYVEK®のようなヒートシーラントが表層材の容積に比べて極めて少量の材料や非結晶性のプラスチックでは顕著な熱変性を示さない。

このようなケースでは「線形」として扱うことができる。

次の手順でシミュレーションデータの演算をする。

(使用するデータは始点を基点とする場合で述べる)

- (1) シミュレーションするための採取したデータの使用範囲を決める

採取したデータ：D 最小値： T_{L1} 最大値： T_{H1}

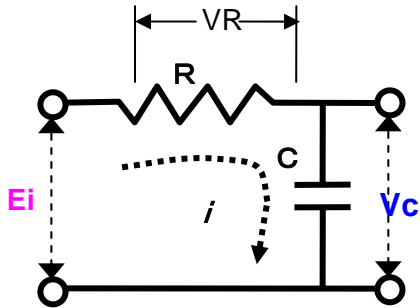
- (2) シミュレーションする温度範囲を決める

最小値： T_{Ln} 最大値： T_{Hn}

- (3) 採取データとシミュレーション条件のデータを使って

$T_{H1} - T_{L1} = \Delta T_1$ $T_{Hn} - T_{Ln} = \Delta T_n$

を計算して、比例定数を計算する



By the heat-sealing system
It replaces with

E_i : Surface Temp. of Heating
object

V_c : Melting Surface temperature

i : Heat Flow

$$i = dq/dt = C(dV_c/dt)$$

$$V_R + V_C = E_i$$

$$CR(dV_c/dt) + V_c = E_i$$

$$dt/CR = -dV_c/(V_c - E_i)$$

If it finds the integral

$$(t/CR) + D = -\log(V_c - E_i)$$

$$V_c = E_i + e^{-[(t/CR) + F]}$$

Initial conditions

$t=0$ If it carries out

$$E_i + e^{-F} = 0 \quad \text{since}$$

$$V_c = E_i (1 - e^{-t/CR})$$

is obtained.

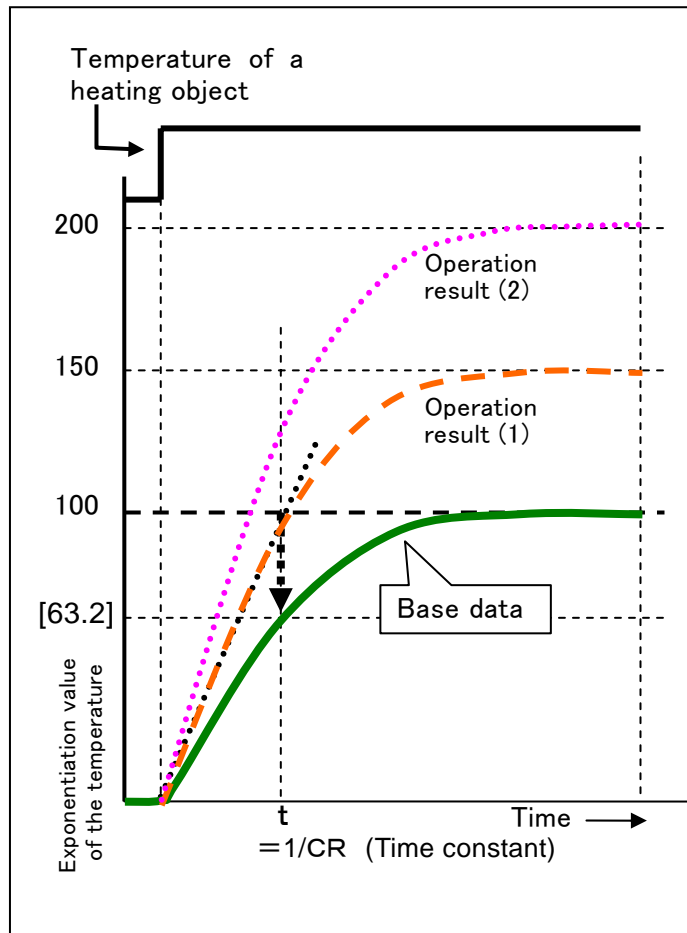


Fig.11-4 Description of way of making of the response pattern in changing heating temperature

(4) 採取したデータは“0℃”起点ではないので比例定数を乗じると始発点は比例定数に応じてシフトするので、差分を補正する必要がある。

補正を含めた演算を次の式を用いて行う。

各時間点のシミュレーションデータを《 D_s 》とすると

$$D_s = D \cdot (\Delta T_n / \Delta T_1) + T_{Ln} - T_{L1} \cdot (\Delta T_n / \Delta T_1) \quad (1)$$

第2項以下は条件が決まれば定数となるので

$$D_s = D \cdot k \quad (2)$$

この演算はパソコンに採取したデジタルデータに [k] を乗じて、シミュレーションデータを得る。 以上の方法の加工プロセスを Fig. 11-5 に示した。

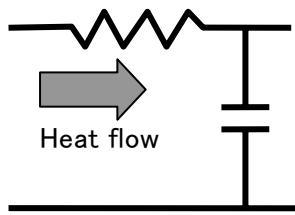
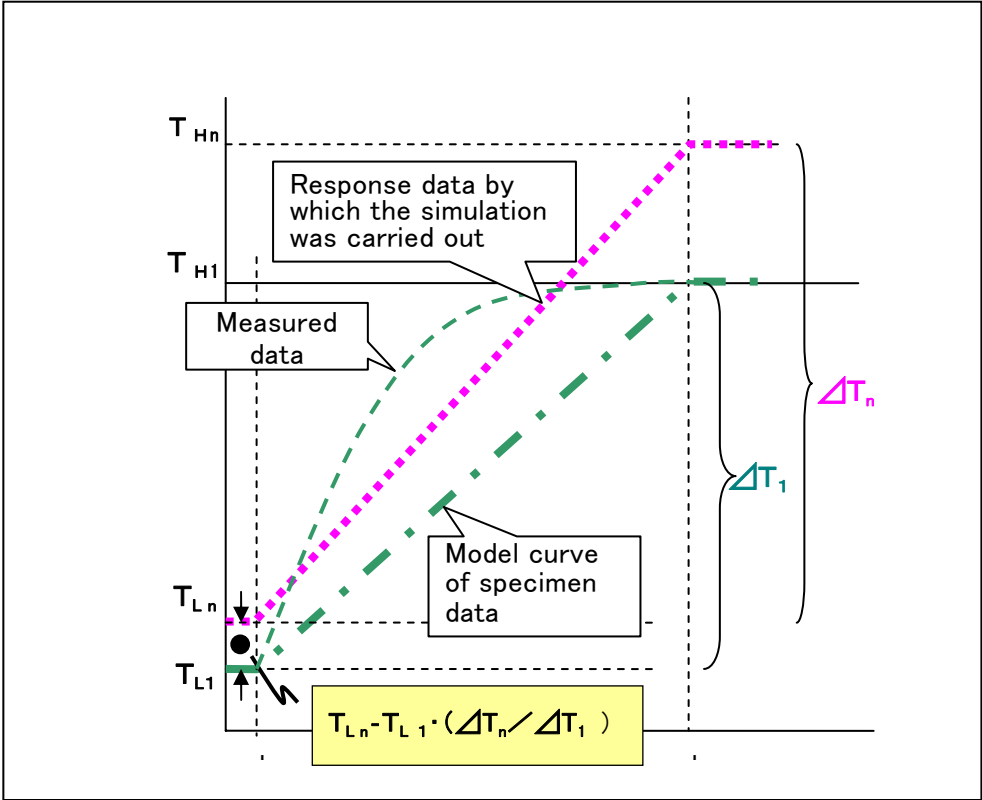
11. 2. 5 熱変性の変曲点が顕著に現れる非線形応答の場合の

シミュレーション方法

ヒートシーラントは数十 μm 以上になると熱変性の変曲点が顕著に現れ、かつ変曲点の前後では応答は1次応答にならないので、データ全域を単純な比例計算では処理できない。しかし変曲点は加熱温度に対して、表層から溶着面の伝達遅れがあるが(第4章; Fig. 4-5 参照) ほぼ不変なのでこの点に着目してシミュレーションする方法を考案した。 その方法を次に示す。

- (1) 採取データから第4章で論じた方法によって変曲点温度を検出する。
- (2) 変曲点を境界にして低温側と高温側に分けて熱変性の小さい場合のシミュレーション方法を使って、それぞれの演算を行う。
- (3) 低温側のシミュレーション結果の時間軸に合わせて、高温側のシミュレーション結果を結合する。

このシミュレーション方法のプロセスを Fig. 11-6 図解した。



$$\begin{aligned}
 T_{H1} - T_{L1} &= \Delta T_1 \\
 T_{Hn} - T_{Ln} &= \Delta T_n \\
 D \cdot (\Delta T_n / \Delta T_1) + T_{Ln} \\
 - T_{L1} (\Delta T_n / \Delta T_1) \\
 &= D_s
 \end{aligned}$$

Fig.11-5 Simulation as the thermal denaturation can handle small as *Linear*

11.3 結果と考察

11.3.1 線形応答として扱える熱変性の小さい材料のシミュレーション

結果と考察

フィルム構成が：《OPP18/PE10/VMPET 9/PE10/PP18》の材料の 119℃/149℃間のシミュレーション結果を Fig. 11-7 に示した。この結果からシミュレーションデータと実測応答データは 2℃以内でよく一致していて、実用性のあることが確認できた。

11.3.2 熱変性の変曲点が顕著に現れる非線形応答の場合の

シミュレーション結果

フィルム構成が《PET12/AL7/PP70》のレトルトパウチ材料の 160℃/180℃間のシミュレーション結果を Fig. 11-8 に示した。

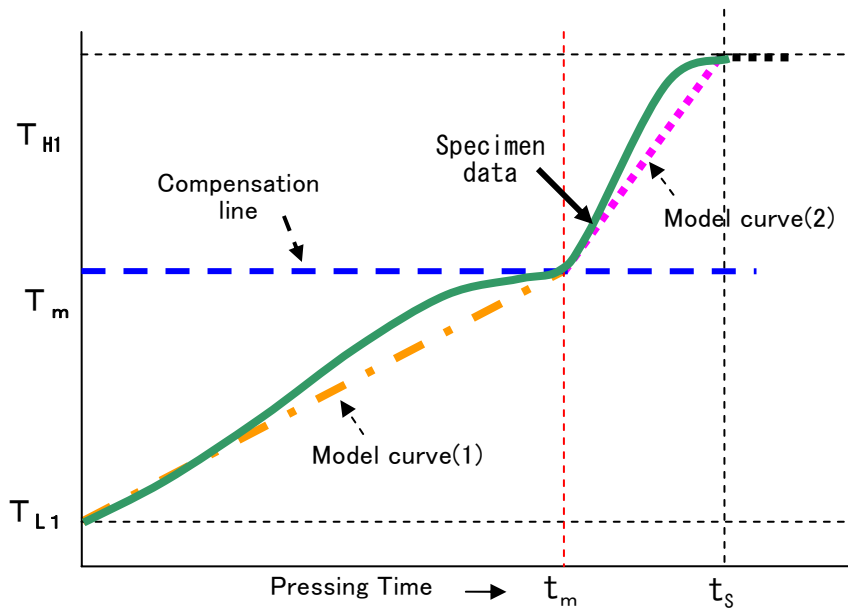
この結果からシミュレーションデータと実測応答データは高温側での相違が見られた。これは熱変形温度が低温の加熱と高温の加熱で応答に差があるものと考えられる。評価は広範囲で行ったが、実際に必要な温度応答範囲は熱変性点中心に 10℃程度が要求されている。このシミュレーションの結果はわずかな振れ巾があるが、シミュレーションデータとして十分活用できる範囲であり、データの有用性は高いと評価できる。

11.3.3 2段加熱による最適加熱の適用考察

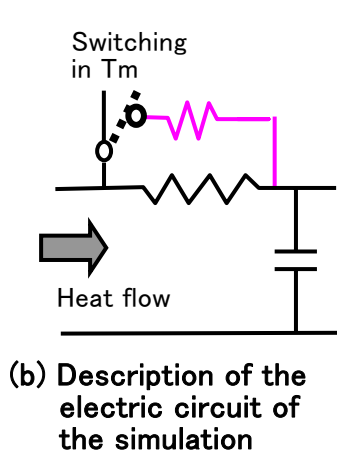
厚手のレトルトパウチ包装材料のように、1段の加熱ではインターバルの時間が長く掛って生産性が悪くなる場合やスタンドパウチのように曲線の4枚重ねの熱溶着（ヒートシール）では予熱をしてから本加熱をする方策がとられている。本研究の適用例と2段加熱への利用の概要を示す。（詳細は第12章に示す）

次のグラフ上でのシミュレーション手順を次に示す。

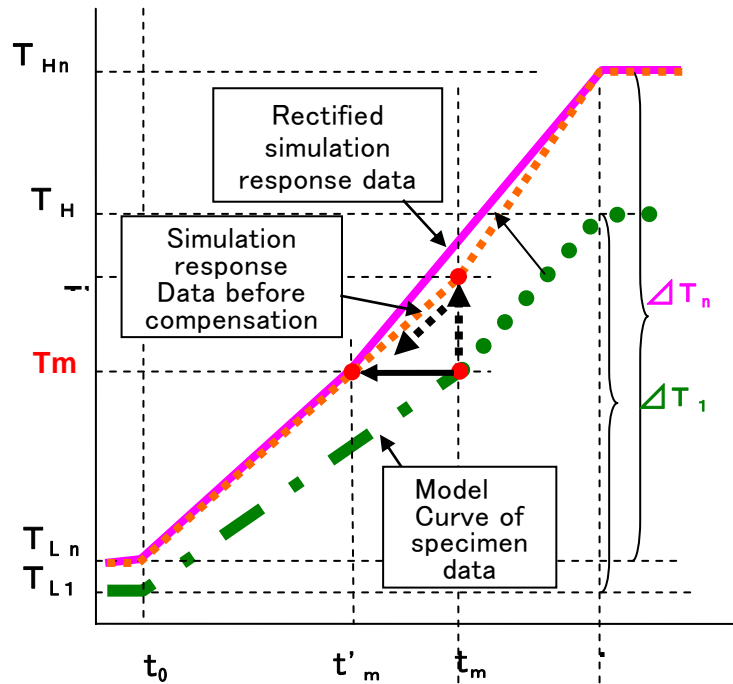
- (1) 熱特性測定適用して適正加熱範囲の上下限温度値を決定する
- (2) 運転条件から1サイクル当たりの加熱時間を算出（測定）する
- (3) グラフ上に (1) と (2) の値を横線、縦線を書き込む。サイクルタイムは、2段目の時間目盛に相当する（×2）にも縦線を入れる。
- (4) 該当包装材料の使用温度帯の表層と溶着面温度応答を2面同時測定を1点計測する



(a) Simulation is separated in the inflection point



(b) Description of the electric circuit of the simulation



(c) Description of the execution of the simulation

Fig.11-6 Simulation as the thermal denaturation largely handles as *Nonlinear*

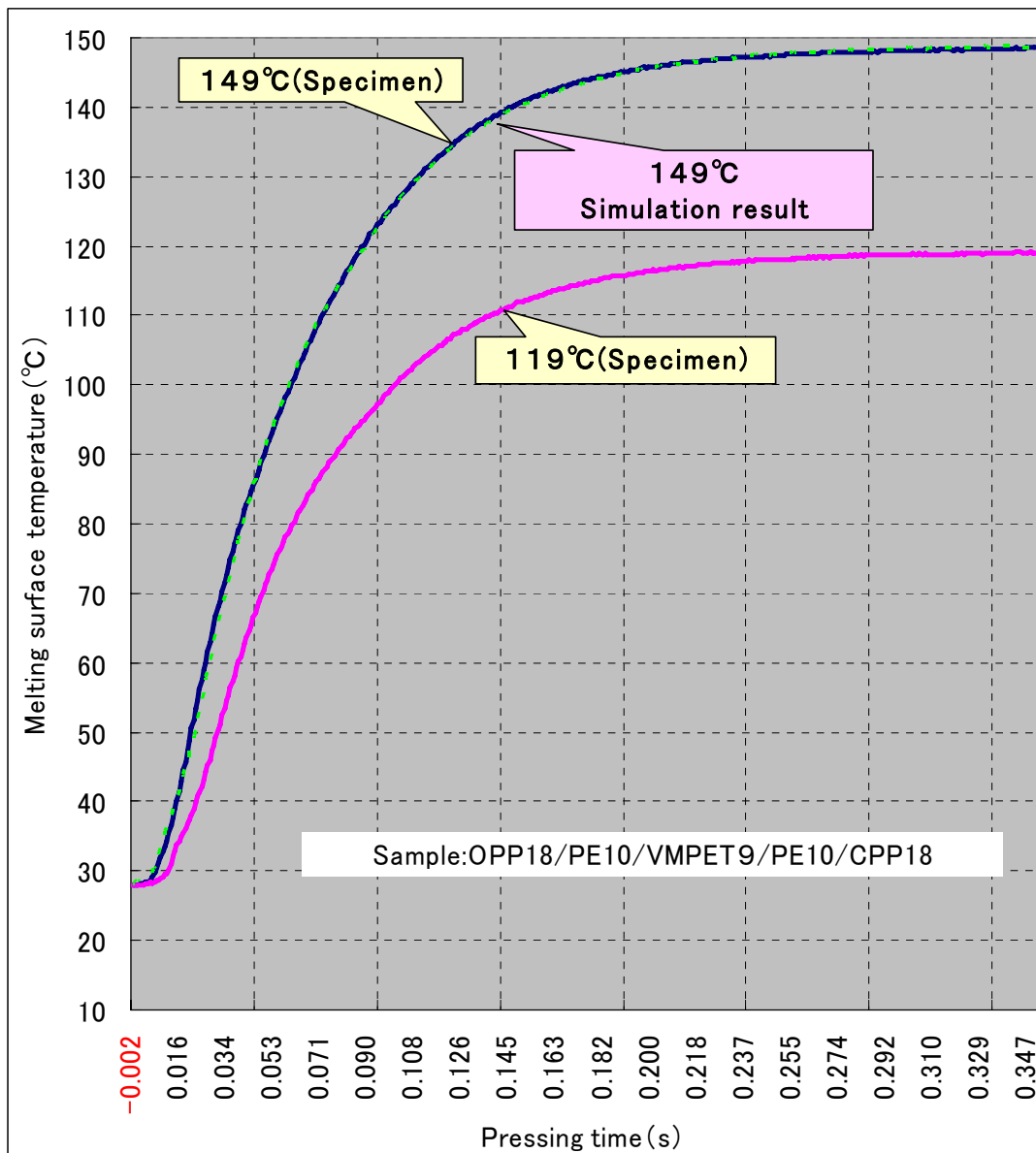


Fig.11-7 Simulation result as thermal denaturation is small

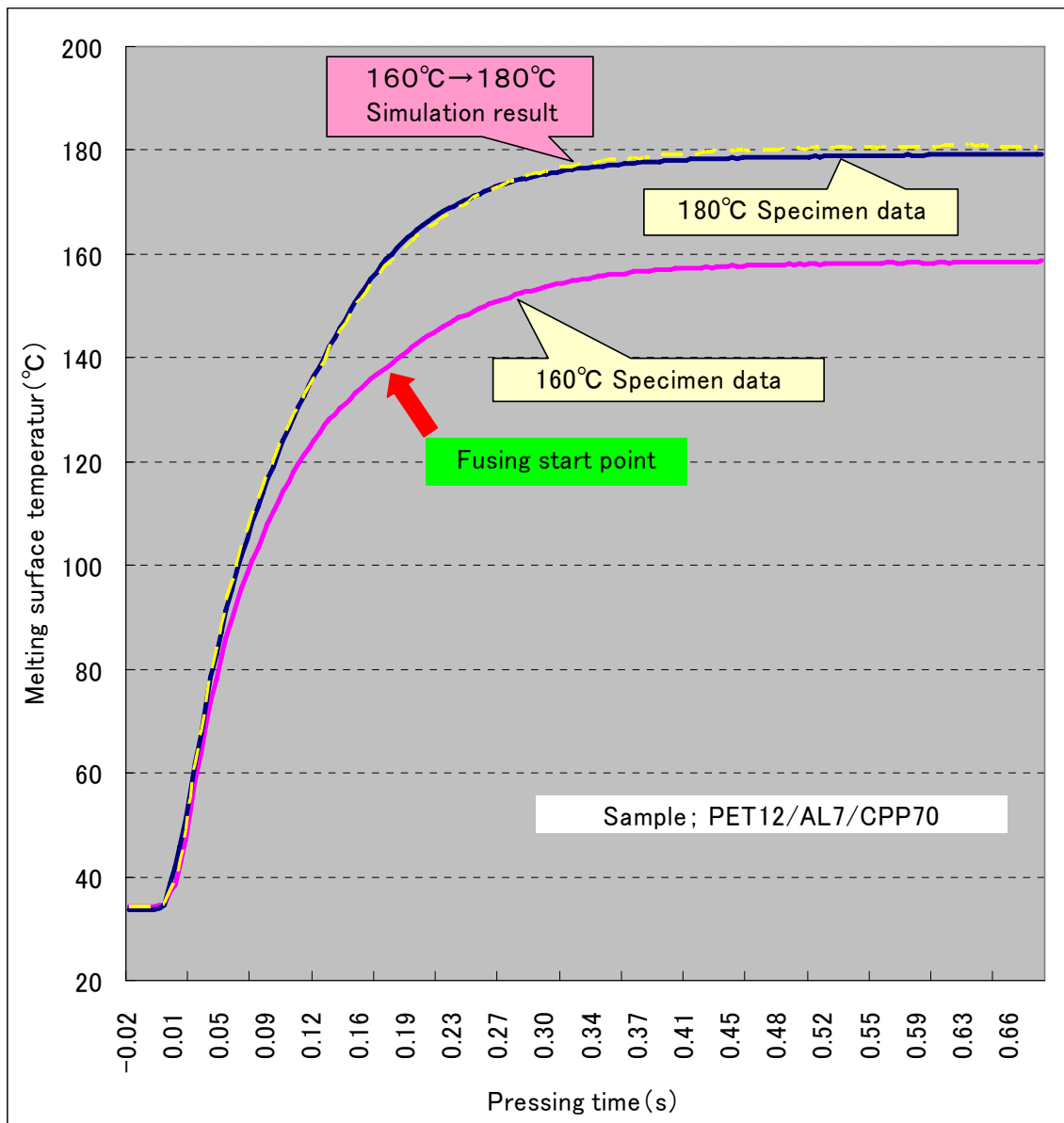


Fig.11-8 Simulation result as heat inflection point appears clearly

- (5) (4) のデータを元にシミュレーションは表層、溶着面温度の双方を行い、サイクルタイム内で、表層が上限温度を超さない加熱条件をシミュレーションの中から選択する。
- (6) (5) で選択した加熱温度の溶着面応答とサイクルタイム線との交点温度を取得する。
- (7) (6) の交点温度を下限値、適正加熱温度の上限値を条件にしたシミュレーション応答を作成する。
- (8) (7) のシミュレーションデータの応答が (×2) のサイクルタイムの制限時間内に適正加熱範囲内に入れば、サイクルタイム、1 段目の加熱温度、2 段目の加熱温度の設定は完全に信頼性が保証された加熱条件となる。
- (9) もし、(8) の結果が適正加熱範囲に到達しなければ、設定したサイクルタイムが早すぎるので、サイクルタイムを大きくなるようにするか、使用する包装材料の厚さを薄くする設計変更が必要である。
- (10) サイクルタイムを変更した場合は (5) からの繰り返しをパソコン上で行うことができる
- (11) 包装材料を変更した場合は、この手順の繰り返しを行う。

この手順を **Fig. 11-9** に示した。**Fig. 11-9** の図中に記した (n) の番号は上記の手順の番号を示した。

本事例では、適正加熱条件を 127～135℃、サイクルタイムを 0.08Sec. とした。

加熱体の表面にはテフロンカバーはしていない。この結果、表層の熱劣化を配慮すると 160℃が第 1 段の最高の加熱温度となる。この応答のサイクルタイムの 0.08Sec. との交点は 120℃となるので、第 2 段の加熱を適正加熱の上限の 135℃とすると 120～135℃のシミュレーション応答を作って、120℃と 0.08Sec. の時間軸の交点に接続して、(×2) のサイクルタイムとの交点の到達温度が適正加熱範囲にあるかどうかを確認すればよい。

本シミュレーションでは適正加熱範囲に入っているので、適正と評価できる。

図中に (a) で示した考察を併記したが、これは、もし一段加熱で溶着面温度が適正加熱の下限に到達し、かつ表層が上限値を超さない条件でシミュレーションしたものである。

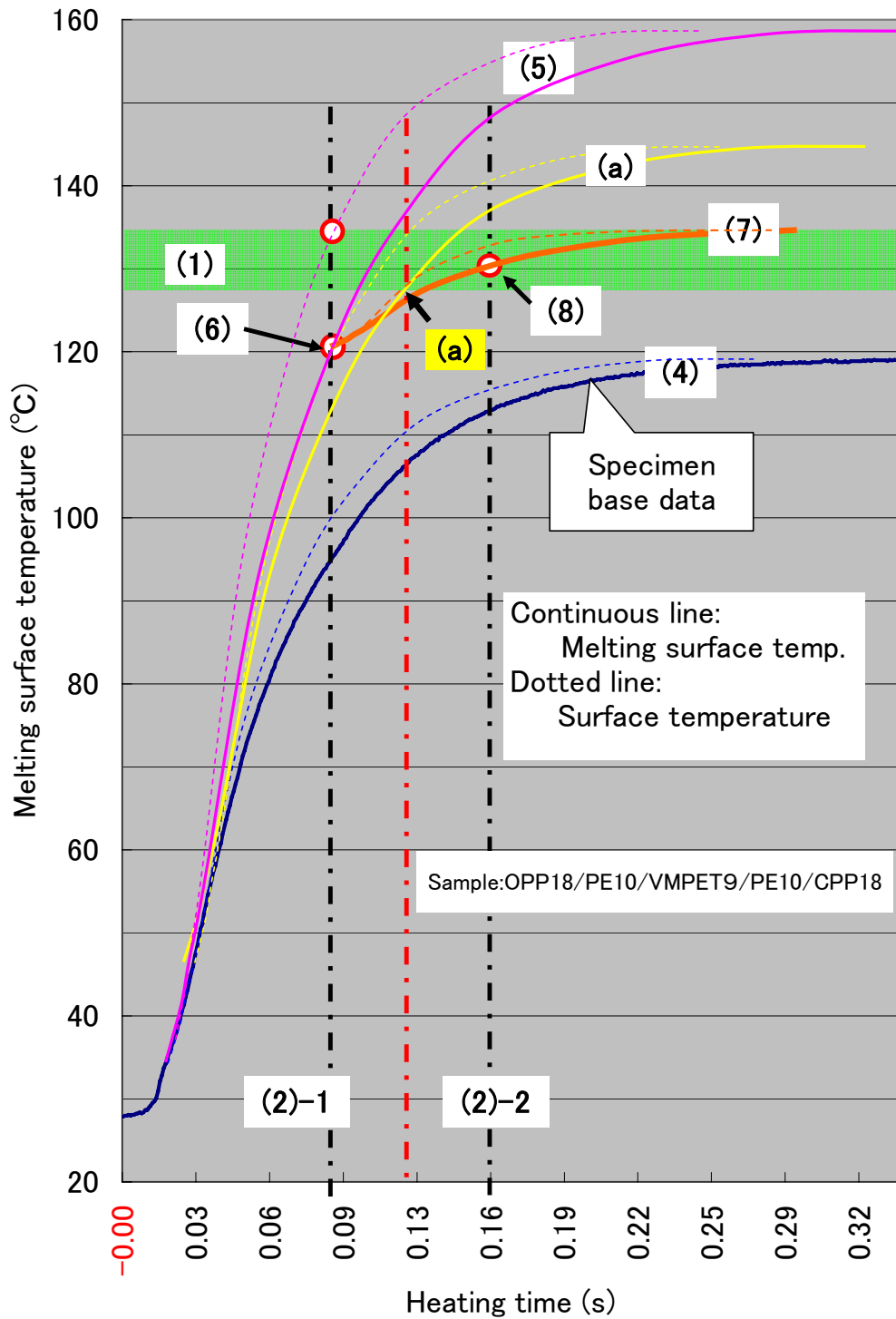


Fig.11-9 Optimization execution case of the heat sealing condition by two step heating

この結果、加熱温度は 145℃以下、サイクルタイムは 0.12Sec. 以上を必要としていることが分かり、サイクルタイムの短縮と上限温度を絶対に超さない 2 段加熱法の優位性を実証している。

1 1. 4 結論

- (1) ヒートシール技法に係る動的挙動（ダイナミックス）を過渡応答回路に相似させ構成要素を明確化できた。
- (2) ヒートシール条件に係る動的要素の把握をすることによってヒートシール管理を容易化できるようになった。
- (3) “MTMS” キットによる “1 データ” の採取を元に広範な温度挙動のシミュレーション方法を開発し、ラボでのヒートシール条件の解析をできるようになった。
- (5) 2 段加熱の最適加熱法の提案ができた。
- (6) 溶着面温度応答のシミュレーション方法の開発は、プロジェクトの初期段階での包装材料や装置のヒートシールの信頼性確認に応用でき、プロジェクトの迅速性とコストダウンへの寄与が期待できる。

1 1. 5 参考文献

- 1) 菱沼 一夫、ヒートシールの数量化管理の研究、「日本包装学会誌」、第 14 巻第 2 号
119 頁(2005)

第12章 熱溶着（ヒートシール）の機能の確認（4）

高信頼性と生産性を両立させる最適加熱の実施方法

12.1 緒言

前章までに熱溶着（ヒートシール）の達成4要素；

- (1) 包装材料の溶着層の熔融温度を知る
- (2) 溶着層を熔融温度以上に加熱する
- (3) 適正加熱温度に到達する時間の制御
- (4) （ヒートシーラント、表層材料の）過加熱温度範囲を掌握する

の確認方法に付いて論じてきた。本章では、論じてきた諸条件の信頼性の維持と生産性を考慮した製造現場への適応能力を検証する。

本章では、以下に付いて論じる。

- (1) 加熱温度と圧着時間の選択方法の基本
- (2) 加熱温度と圧着時間の選択の手順
- (3) 速やかな冷却（冷却プレス）
- (4) イージーピールシールの確実な実施法
- (5) 信頼性と高速生産性を実現する2段加熱法の実際

12.2 高信頼性と生産性を両立させる最適加熱の条件

熱溶着（ヒートシール）を確実にを行う条件はヒートシーラントの固有の熔融温度に加熱し、過加熱を回避することにある。高温で加熱すれば、短時間にヒートシーラントを所定の温度に到達させることができるが、表面材が先に熱損傷を受けたり、精密な圧着時間の調節を必要とする。

加熱時間に制約がなければ、加熱温度の上限を材料の熔融温度に設定し、材質や厚さで決まる伝熱時間を加熱時間に選べば最適な熱溶着（ヒートシール）が達成できる。

基本となる方策をFig. 11-1を元に適正加熱範囲を加味した進め方をFig. 12-1に示した。

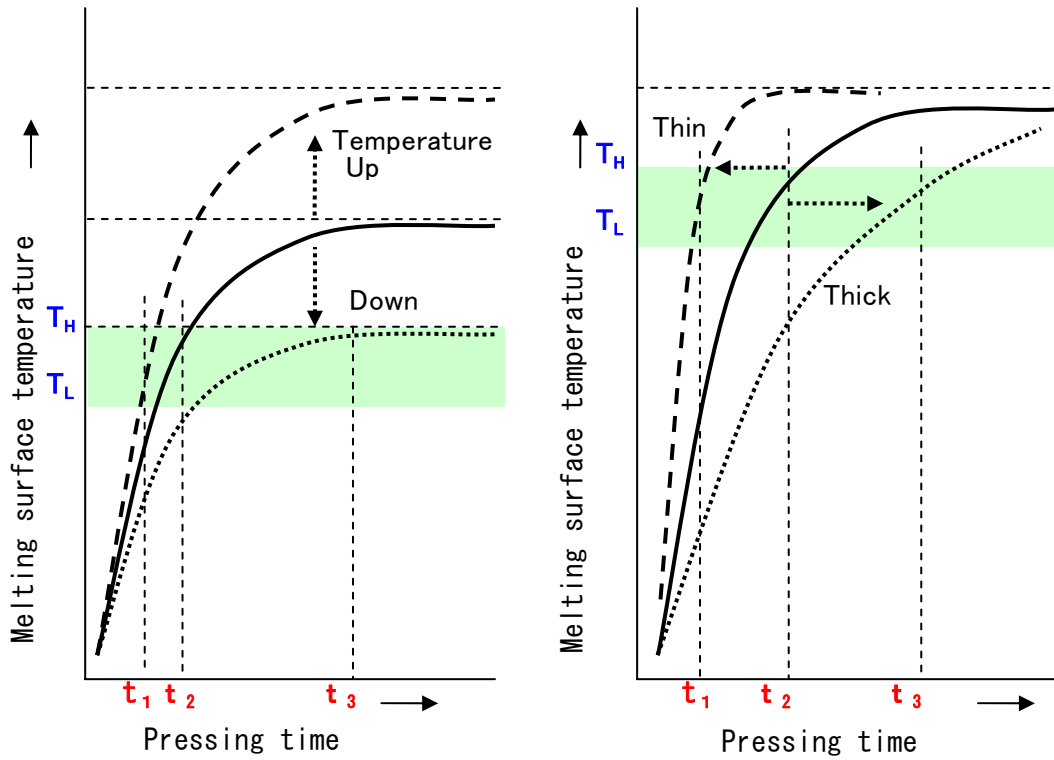


Figure 12-1 Fundamental response of the melting surface temperature in the heat sealing

1 2 . 2 . 1 「適正加熱範囲」の設定方法の検討

適正加熱範囲の決定方法は既に述べてきている方法と熱接着の品質管理マネージメントを付加して決定するのがよい。

- (1) 過加熱を避ける上限温度（第4章、第6章～第10章）
- (2) 加熱不足の回避、イージーピールの調節要求から決まる下限温度
- (3) 実際の熱溶着（ヒートシール）装置の加熱温度の精度、バラツキを加味した設定温度の上乗せ。
- (4) 適正加熱範囲の設定によって発生する不具合の容認マネージメント

1 2 . 2 . 2 加熱温度と加熱時間の変更によるリスクの確認

従来の熱溶着（ヒートシール）の加熱温度と加熱時間は、もっぱら当該の生産工程の時間当たりの生産性から決定され、包装材料の固有特性は考慮されないことが多い。

Fig. 12-1 から加熱温度を上昇させれば1回当たりの加熱時間は短縮できることが分かる。しかし、加熱温度の上昇によって、適正加熱範囲の通過時間は $10^{\circ}\text{C}/0.01\text{Sec}$.程度の高速の圧着／停止（冷却）の動作の精密な制御が必要になる。

そのためには、包装材料の厚さ、加熱体表面のテフロンカバーの排除、表面仕上げの平滑化等を配慮したり、加熱体と包装材料の熱接触抵抗の低下を図り、加熱温度の低温化を行うことが重要である。 サイクルタイムをなるべく長く取る（運転速度を低下させる）マネージメントも有効である。 包装材料の焦げ付き防止に発熱体をテフロンシートをカバーしているが、適正加熱温度での運転し、高温化を防げばテフロンカバーは不要になる。適正温度での運転は焦げ付きを防止できるだけでなく、掃除の必要のない無人運転が可能になり、歩留まりが改善され良品効率の向上が図れる。

1 2 . 3 熱溶着（ヒートシール）最適加熱方法の実際

1 2 . 3 . 1 最適加熱条件の設定の手順

最適加熱条件≪達成4要素≫の確認の手順を次に示す。論拠は行末に参照章を付記した。

- (1) 溶着温度を把握：「熱特性測定法」と溶着面温度をパラメータにしたヒートシール強さの計測で把握 【第4章】

- (2) 熱劣化を起こす加熱上限温度を「角度法」で検証する 【第6章】
- (3) 包装形態のヒートシールフィン巾を確認する
- (4) ヒートシールフィン巾が7mmより大きい小さいかによって、
Peel seal/Tear seal を選択する。 【第7章】
- (5) 以上の情報を元に「適正加熱範囲」を決定する。
- (6) 適正加熱範囲を通過する溶着面温度応答を« “MTMS” キット »を
使って3本位採取する 【第3章】
解析に不足するデータはシミュレーションして作成する 【第11章】
- (7) 過加熱を起こさない（適正加熱範囲内）の加熱温度をシミュレーションに
よって得る。 この条件の採用が最も好ましい。
- (8) 「適正加熱範囲」を通過する加熱温度曲線から適正な加熱温度と加熱時間の
組み合わせを決定する。（温度と時間のマトリックスを作成する）

12.3.2 最適加熱方法のリスクマネジメント

- (1) 適正加熱範囲を通過する加熱温度設定の場合には、そのリスクを提示してマネージャーの承認を得る
- (2) Tear seal 領域の加熱条件を選択した場合には、ポリ玉の発生を少なくするために圧着圧を0.2MPa以下、ギャップ調節を現場の機械に施す
【第5章】
- (3) 加熱後のホットタック¹⁾（未固化前の外部応力による溶着面の剥離）を防御するため速やかな冷却の実施
- (4) 加熱温度設定がリスクの大きい条件に入った場合は、「2段加熱法」に変更する
【第11章】

12.4 実施事例

12.4.1 レトルトパウチの適正加熱化

高温に曝されたり、充填物の微生物汚染耐性が小さいので、レトルトパウチの熱溶着（ヒートシール）は多くの熱溶着の中でも最も厳密さを要求される。

(第 10 章) では H A C C P への対応方法に付いて論じたが、ここでは検証された熱溶着 (ヒートシール) 条件の生産現場への移転の方法を詳解してある。

この章では選択された加熱条件を現場の生産装置に確実に反映させる方法を紹介する。

Fig. 12-2(a) にレトルトパウチの溶着面温度を測定した結果示した。

先ず 1 段のみの加熱法から説明する。このサンプルの最適加熱温度帯は 147~160°C と解析されている。(第 10 章参照) 表面温度の 223°C の加熱から評価すると、高温の加熱温度が高温のため溶着面温度 **1-1** が適正加熱範囲に到達する前に表面 **1-2** が制限温度を超えているので使用は不可と判定される。203°C の加熱では、溶着面温度 **2-1** が下限温度に到達と同時に表面温度 **2-2** が制限温度に到達しているので、適正条件は “1 点” しかない。183°C では 0.53 Sec. で溶着面温度 **3-1** は下限に達する。表面温度 **3-2** は 0.61 Sec. で上限温度に達する。従って 183°C の適正加熱時間巾は 0.53-0.61 Sec. の 0.08 Sec. となる。

163°C では 1.05 Sec. で下限温度に到達し、上限温度を超えることはないので過加熱は起こらない。溶着面温度シミュレーション (第 11 章参照) を使って過加熱のない最高温度 (適正加熱範囲の上限温度) を貼りつける。この結果下限に到達する時間は、0.9 Sec. となる。すなわち 160°C 加熱で決まる運転速度が H A C C P 管理の制約条件となる。0.9 Sec. の加熱時間をサイクルタイムに変換すると約 3 倍 (**Fig. 12-3** 参照) の 2.7 Sec. になり、運転速度にすると 22 ショット/分になる。この速度が遅いので生産速度に見合う速さにする方法は加熱の熱伝導を改善するためにテフロンカバーの装着を排したり (第 5 章 5. 4. 4 参照)、表面の平滑化を図る必要がある。

1 2. 4. 2 2 段加熱法の実施方法と高速性と信頼性両立の確認 (第 11 章参照)

一段加熱では熱溶着 (ヒートシール) の信頼性と高速性を両立させるのは難しい。

信頼性と高速性の両立には「2 段加熱」を利用する。ここでは前項の 1 段加熱の事例に 2 段加熱適用して 2 段加熱の機能性を比較検証する。2 段加熱は包装機械に加熱ステーションを二つ装備する。二つの温度設定の仕方を **Fig. 12-2(b)** に示した。1 段加熱では使用が不可であった 223°C 加熱を使用する。この場合の表層温度が適正加熱範囲の上限に到達した時間 0.28 Sec. **1-2** を摘出する。この時の溶着面温度 139°C **1-1** は下限温度に到達する前に 1 段目の加熱を終了する。

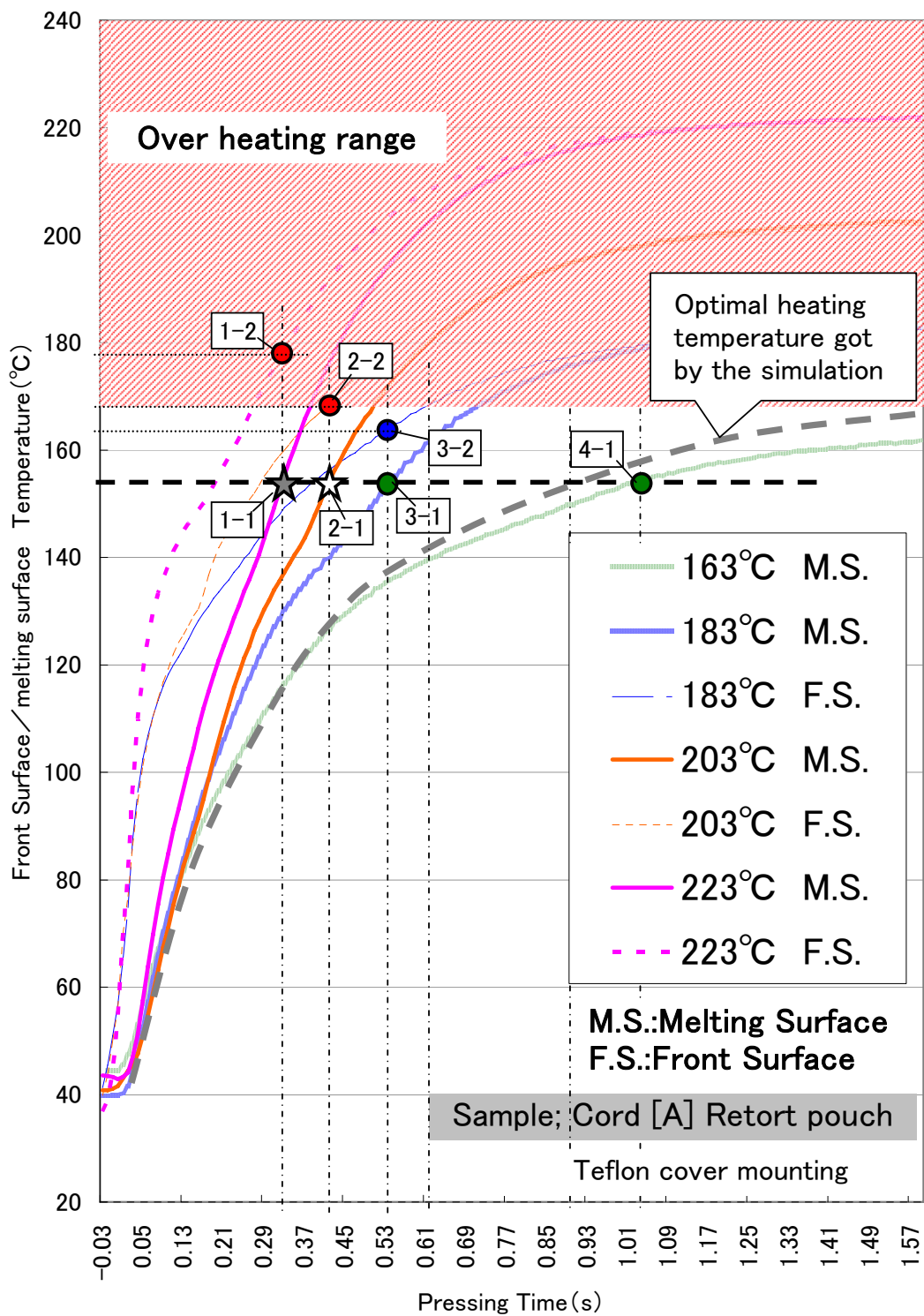


Figure12-2(a) Verification of the proper thermal condition of retortable pouch
[Case of the single step heating]

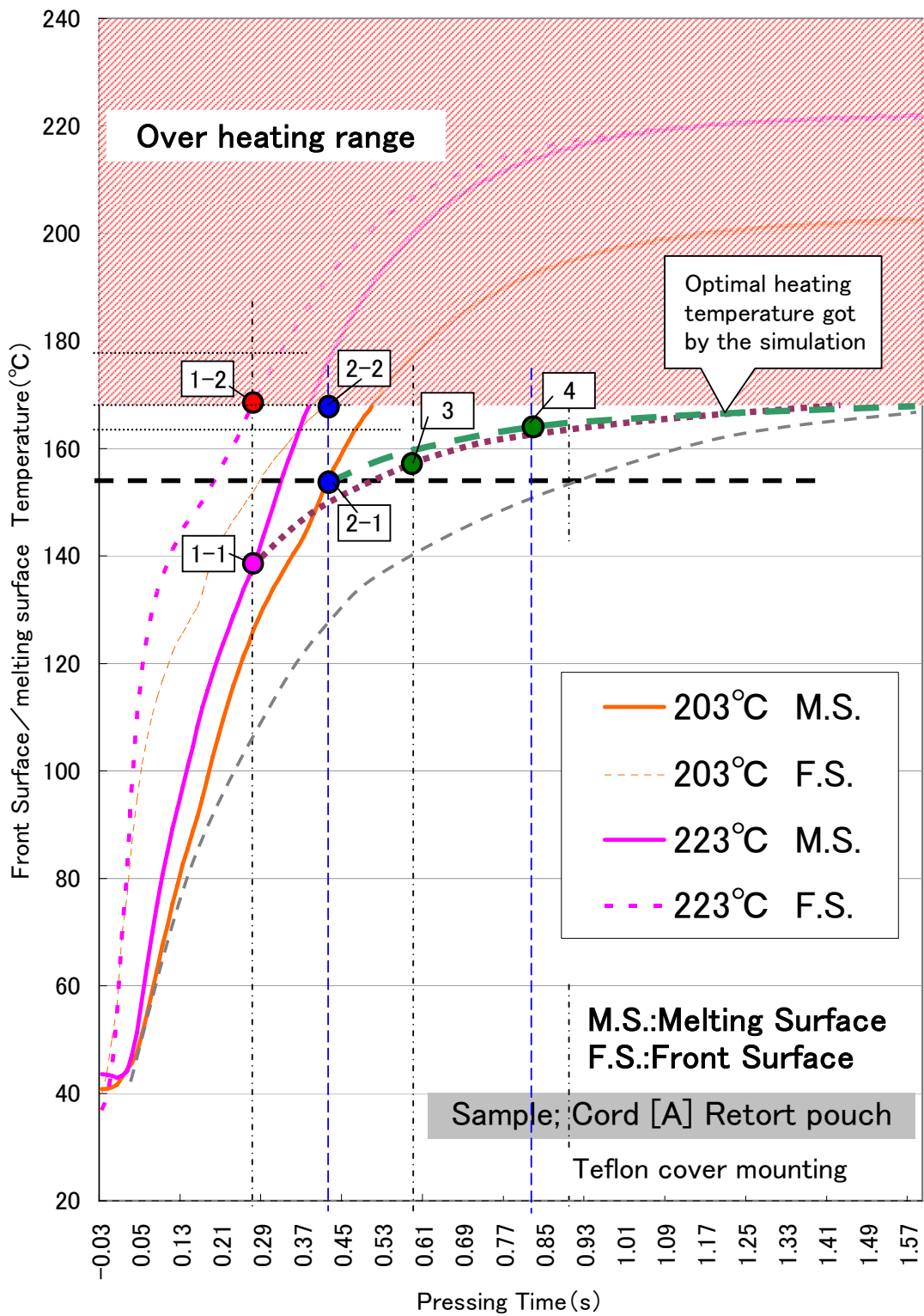


Figure12-2(b) Verification of the proper thermal condition of retortable pouch [Case of the double step heating]

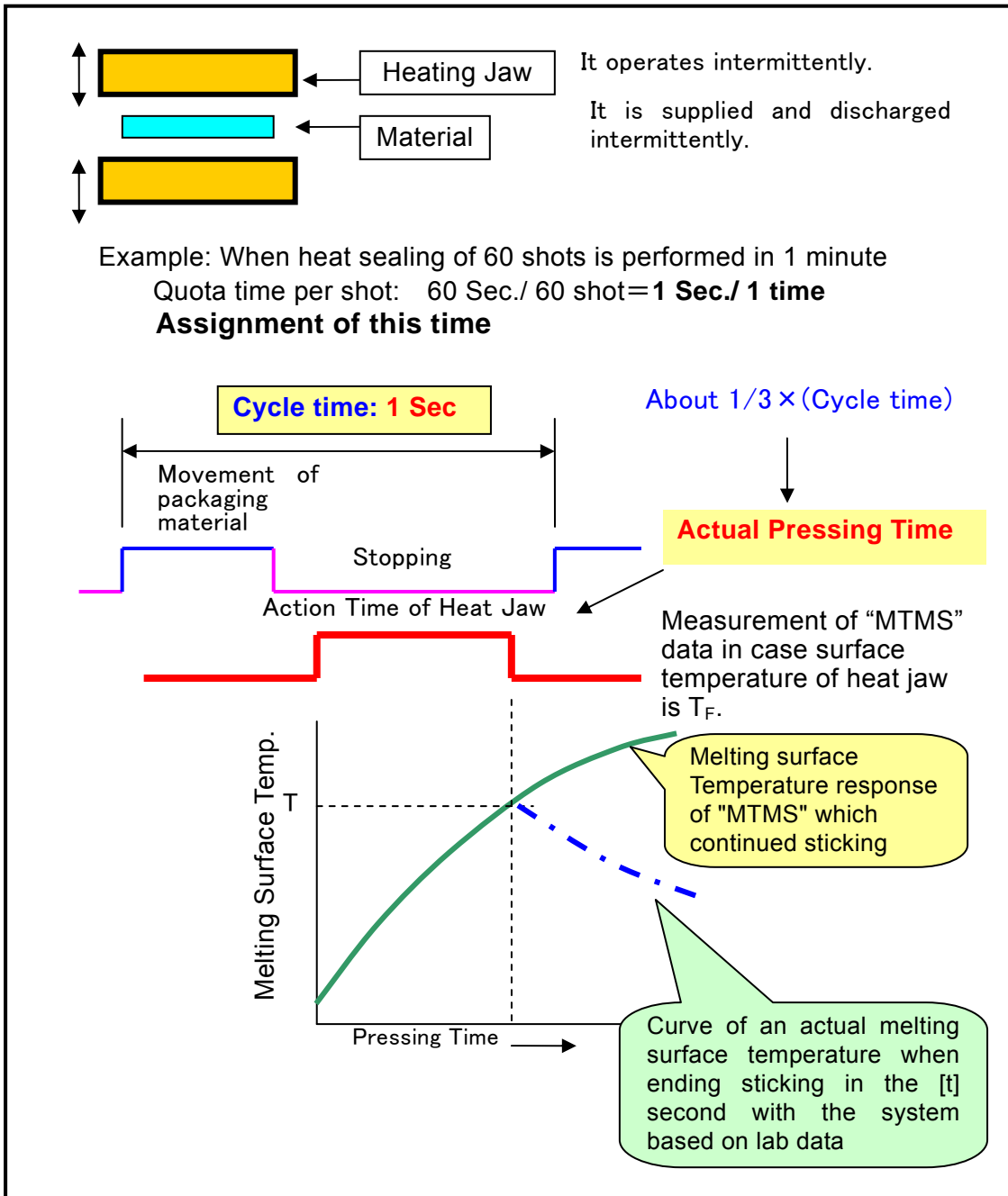


Figure12-3 Action description of the heat sealing of the intermittent motion
 [Description in cycle time and heating time]

139–165°Cの条件のシミュレーション応答を作成して、**1-1**点と結ぶ。1段目から2段目に移行するときの温度降下は高速の空气中移動の放熱なので無視してもよい。1段目の加熱時間と2段目の加熱時間は同一の機械動作である。従って第2段の加熱 (0.28×2) = 0.56sec. となる。この時間線と139–165°Cのシミュレーション応答との交点**3**が適正加熱範囲に入っていれば適正な加熱が行われることが検証できる。このシミュレーションの結果、サイクルタイムは加熱時間の約3倍で71ショット/分を得ることができる。

第1段目に203°Cを適用すると溶着面温度は既に下限値**2-1**に到達しているので第2段加熱は適正加熱範囲の上下限值(147–165°C)でシミュレーションした応答を**2-1**点に結合すればよい。この時の加熱時間は0.44Sec. が得られる。この2倍の時間線とシミュレーション応答交点**4**が得られる。この時のサイクルタイムは約1.32Sec. となり、運転速度は45ショット/分となる。

203°Cを適用した場合には、溶着面温度の到達時間に余裕があるので、適正加熱温度範囲を低めて、熱溶着(ヒートシール)の安定性を高めることができる。

以上の結果をまとめて **Table 12-1** に示す。

Table12-1 Result of the optimization of heat sealing condition of the retortable pouch

	Single step heating					Double step heating	
						2nd temp.: 165°C	
						proper heating	1st temp.
Heating temperature(°C)	223	203	183	163	165	223	203
Heating time (Sec.)	failure	0.43	0.53-0.61	1.03	0.9	0.28	0.44
The permission time (Sec.)	failure	0	0.08	1.09-	0.9-	0.28-	0.44-
Cycle time(Sec.)	failure	1.29	1.71	3.27	2.7	0.84	1.32
Ope. Speed	failure	46	35	18	22	71	45

Heating time × 3 ≐ Cycle time

Operation speed = 60 / Cycle time (Shot/min.)



Adequate region

1 2 . 4 . 3 食パン包装のイージーピールの多重シールの保証方法

第9章で、高性能の Peel seal 素材の剥がし易さの発現メカニズムについて論じた。

この試験サンプルでは、80-84℃に最適な Peel seal ゾーンがあることを示していた。このフィルムの剛性が小さく、やわらかいため、ヒートシール面には多数の“タック”が発生する。

Fig. 12-4 の図中に示したように、ヒートシールは2枚から6枚重ねの3種が発生する。イージーピール接着の場合は、ヒートシールされた帯に Tear seal 部位が混在すると開封の際に破れが発生して、再封止した時の密封ができなくなる。弱すぎる Peel seal は作業中、物流中の衝撃、応力で消費者の手に渡る前に剥がれてしまう不都合の原因になる。

実際に起こっている3種の重なり条件の各溶着面温度を《“MTMS”キット》を使って測定した応答を Fig. 12-4 に示してある。

2 sheets の応答は最も早く、(3)の時点 (0.19 Sec.) で適正加熱範囲に到達する。適正加熱温度の上限を超すと Tear seal になるので加熱源は 84℃に設定した。6 sheets の応答は、0.38 Sec.で適正加熱範囲の下限に(1)到達する。この時、2 sheets の溶着面温度は上限の 84℃(2)に到達している。

4 sheets の溶着面温度は適正加熱範囲に入っている。すなわち 0.34 Sec.以上の加熱時間が確保できれば、3種のどの条件でも Peel seal を施すことができる。

実際の現場への適用性を検証するために、現場で使うヒートシーラーは被加熱物を金属テープで挟んで、金属テープの裏面を発熱体に摺動させ、伝熱加熱するベルトシーラを想定して実験を行った。応答データ中に 0.08mmのプレートのデータを添えたのは加熱装置のベルトの基本熱伝達能力を確認したものである。

各応答データの測定にもこの金属プレートで挟んだ複合応答を測定している。

次に《84℃、0.38 Sec.》の条件が実用的に使えるものかどうかの確認を行う。

検証条件として、包装仕様を次のように設定する。

(1)包装品にヒートシール長さ : L (cm)

(2)加工ピッチ : $P = k \times L$ (cm)

(3)加工速度 : N (ヶ/min.)

(4)加熱時間 : t_n (Sec.)

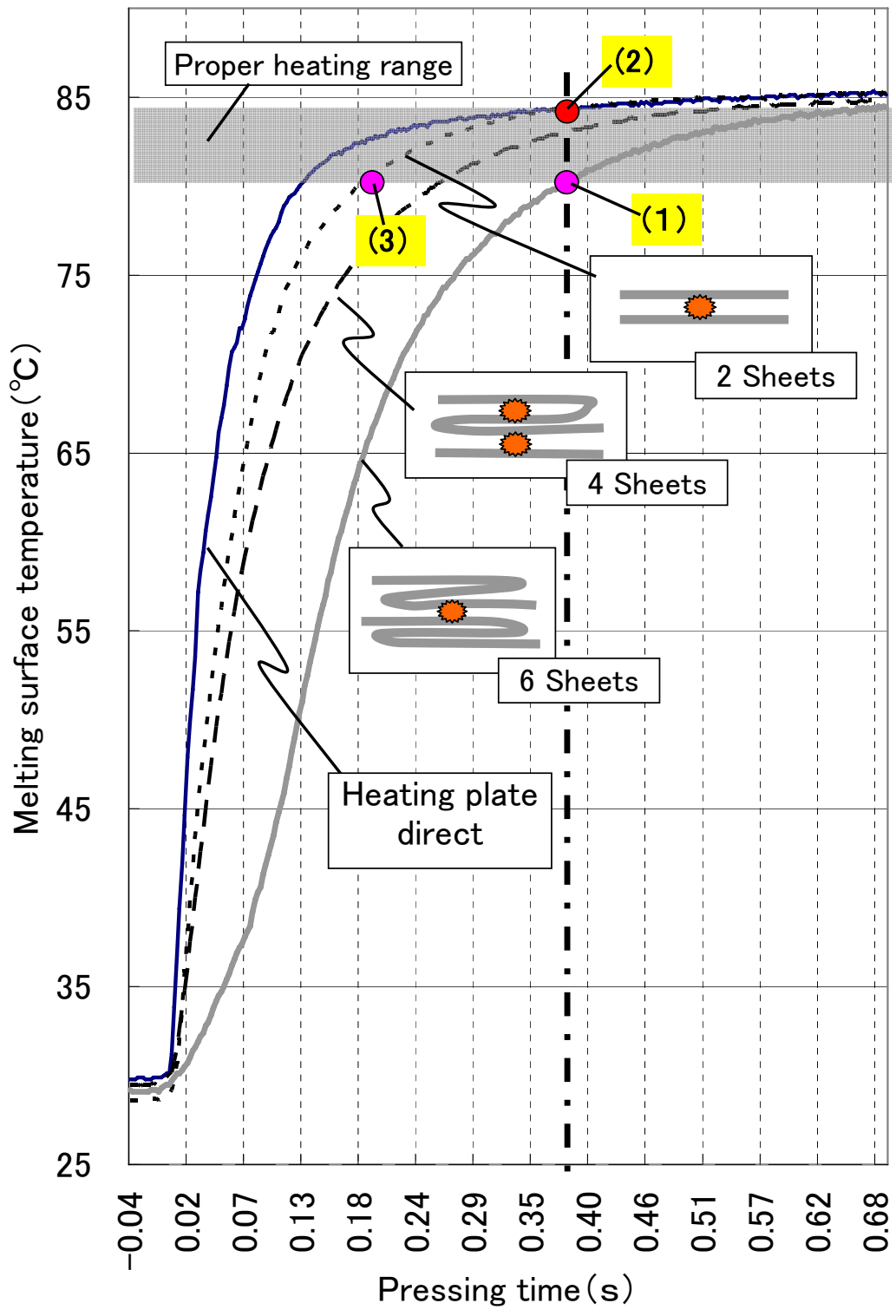


Fig.12-4 Melting surface temperature response of 2-6 sheets piling and evaluation of the optimal heating condition

以上の条件から被加熱体が $\ll t_n \gg$ Sec 間所定の加熱を受けられる最低の両面加熱体の長さは、次式で求めることができる。

加熱ゾーンの長さを (H) とすると

$$H \geq (P \times N / 60) \times t_n \quad (\text{cm}) \quad (1)$$

で表すことができる。 事例として

製品のヒートシール長さ L : 20 (cm)

インターバル $k = 1.5$ とすると P=30 (cm)

生産速度 40 shot/min.

6 枚シートの適正加熱温度の下限到着時間 0.38Sec.を適用する。

加熱ゾーンの長さ (H) は

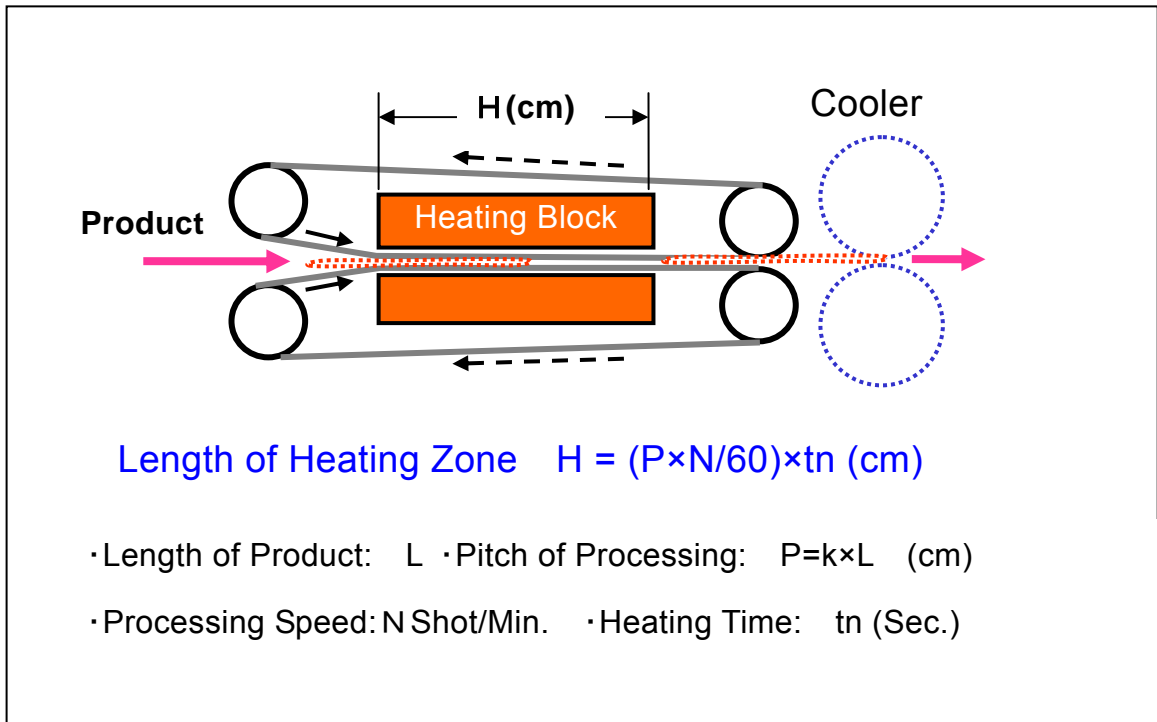
$$\begin{aligned} H &\geq 30 \times 40 / 60 \times 0.38 & (2) \\ &\geq 8 & (\text{cm}) \end{aligned}$$

を得る。 この結果は実施上何の問題のない寸法である。

この評価結果を Fig. 12-5 に示した。

12.5 参考文献

- 1) ASTM F 1921



Example of a design :

- Length of Products : **20** cm
- Interval : $k = 1.5 \rightarrow P = 30$ cm
- Processing Speed : **40 Shot/min**
- Heating Time :

※Surface temp. of Block : **85°C**

From the melting surface temperature data of the case of six sheets **0.38** Sec.

$$H \geq 30 \times 40 / 60 \times 0.38$$

$$\geq 8 \text{ (cm)}$$

Figure12-5 Verification result of the practicability of the perfect peel sealing method

第 13 章 本研究の汎用性の検討

13.1 緒言

本章では関係部門から寄せられた 100 件以上の熱溶着（ヒートシール）の課題に本研究の展開を適用した事例を示す。

紹介する事例は次のものである。

- (1) 「不織布」のヒートシール条件の解析と最適加熱条件の提示
- (2) 包装商品のヒートシールクレームの解析と原因究明 <<2 例>>
- (3) 生分解性プラスチックの熱溶着特性の解析／評価

13.2 適用事例の紹介

13.2.1 医療用滅菌包装材料（不織布）の適正なヒートシール条件の検討

(1) はじめに

有害微生物の包装物への混入事件がアメリカで多発して、FDA は信頼性の保証された“パーマネントシール”の推奨しており、熱板方式をセキュリティー点から見直しを開始にしている。

本件はミシガン州立大学の包装学科と共同研究を行ったものである。

実験に使用した Tyvek[®]はアメリカの DUPONT 社が開発した 100%ポリエチレンの連続性極細長繊維を熱と圧力で結合したシート¹⁾で、医療用包装材料として世界的に普及している。Tyvek[®]はガス、水蒸気等の滅菌操作に対応するために、シートには通気性を持たせる加工をしているので、ヒートシールの是非を試験する従来法の気密法が適用できない。

(2) 検証の内容

ヒートシール技法の課題は以下の通りである。

- (1) 包装工程での適正シール操作の保証
- (2) 悪戯防御性の是非 (Tamper evident)
- (3) 過加熱によってシュリンクが発生して、ヒートシール面に発生するピンホールホールによる微生物防御機能の喪失又は低下の回避

(3) 実験方法

評価対象の包装材料は透明なコートフィルムとベースフィルム（不織布）の2種で構成されているので、2種のそれぞれの熱特性と溶着面温度ベースのヒートシール強さの発現を測定する。更に実際と同様に2種の包装材料を組み合わせた場合の熱特性とヒートシール強さを測定する。

(4) 結果と考察

実験の結果をまとめたものを **Fig. 13-1 (a) (b) (c)** に示した。

Fig. 13-1 (a) はベースフィルム単独の熱特性とヒートシール強さを示している。

サンプルはPEの繊維が熱溶着に直接関与せず、PEの表面にPPのco-polymerの微細粒子を噴霧（Dispersion）してPE繊維の表面に接着層を形成していると推定される。この層は $1\mu\text{m}$ 以下と推定され、熱特性の測定では熱変性が顕著に現れていないので、 90°C の前後からを基点にヒートシール強さの発現を測定して、適正加熱温度帯のヒートシール強さを確定した。 127°C 付近に現れている変化は本体のPEのものであって接着層の熱変性ではないことをコートフィルムの熱特性から確定した。

Fig. 13-1 (b) はコートフィルム単独の熱特性とヒートシール強さを示している。

顕著な熱変性を示している。熱特性の変化情報をもとに温度巾を狭くした詳細なヒートシール強さの測定を行った。**Fig. 13-1 (c)** はベースフィルムとコートフィルムの複合応答である。溶着面の熱変性はコートフィルムの特性が支配的であることが分かる。3点の計測結果からベースフィルムとコートフィルムの熱変性の観察結果を **Table13-1** にまとめて示した。**Table13-1** の結果から適正加熱範囲は $98 - 108^{\circ}\text{C}$ を得ることができた。

適正加熱範囲を各種の加熱方法で加熱した場合の溶着面温度応答の一例（片面加熱）を **Fig. 13-2** に示した。3種の加熱方法で得られた最適加熱条件の応答から温度と加熱時間のマトリックスを得ることができる。片面加熱とインパルス加熱はコートフィルム側からの加熱応答である。以上の測定結果をまとめるとこのサンプルの適正範囲と非適正範囲が **Table13-2** のようになる。このように試験サンプル毎のヒートシール基準を作ることができるようになった。

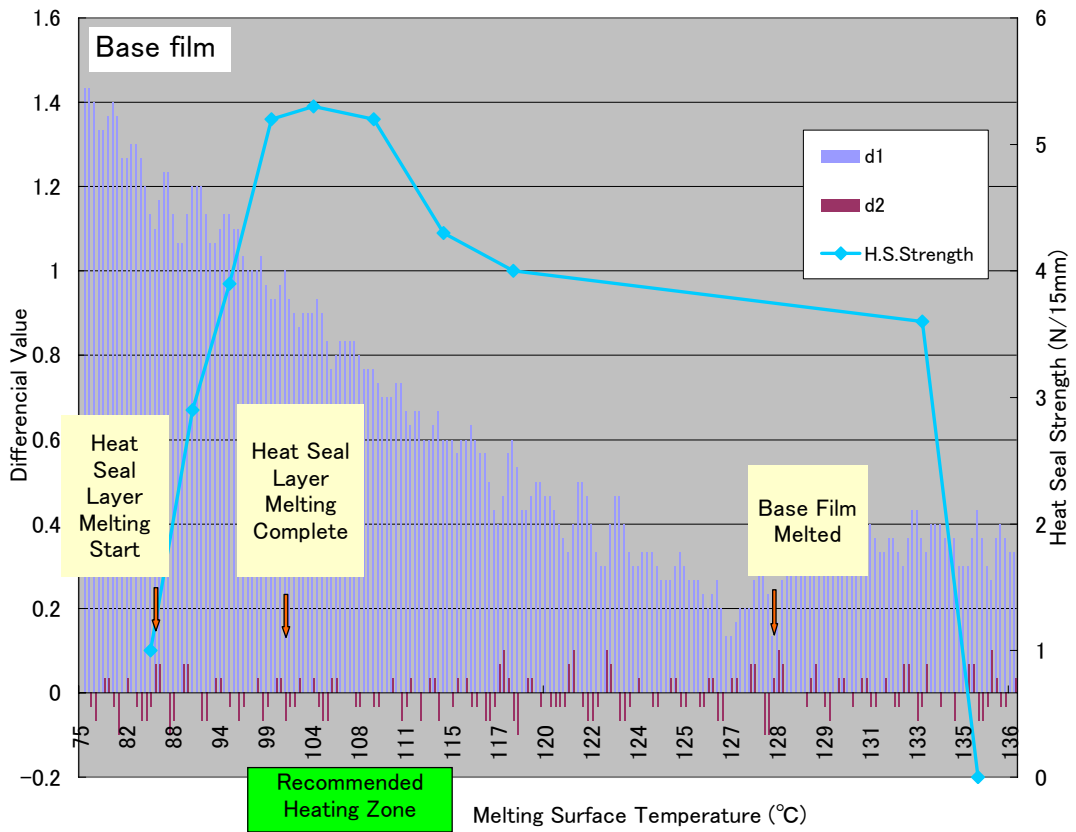


Figure13-1(a) Heat characteristic and heat sealing strength of a base film

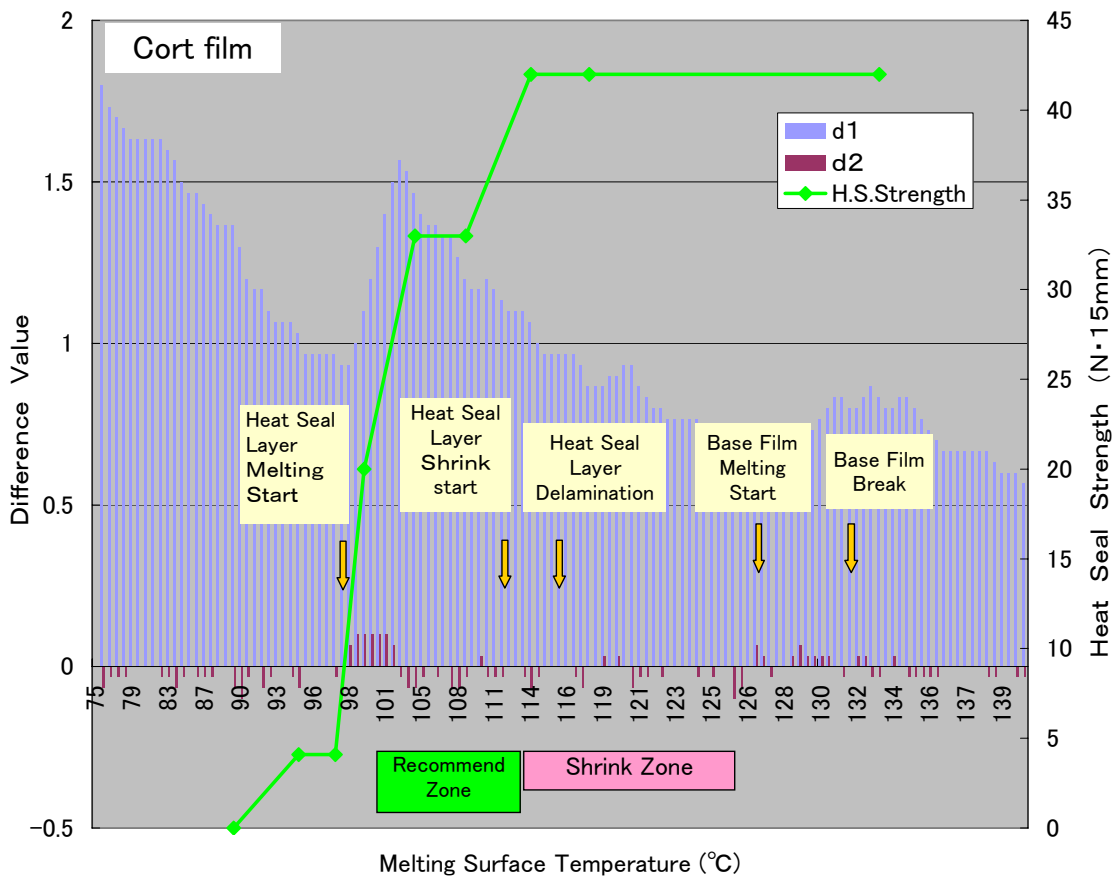


Figure13-1(b) Heat characteristic and heat sealing strength of a base film

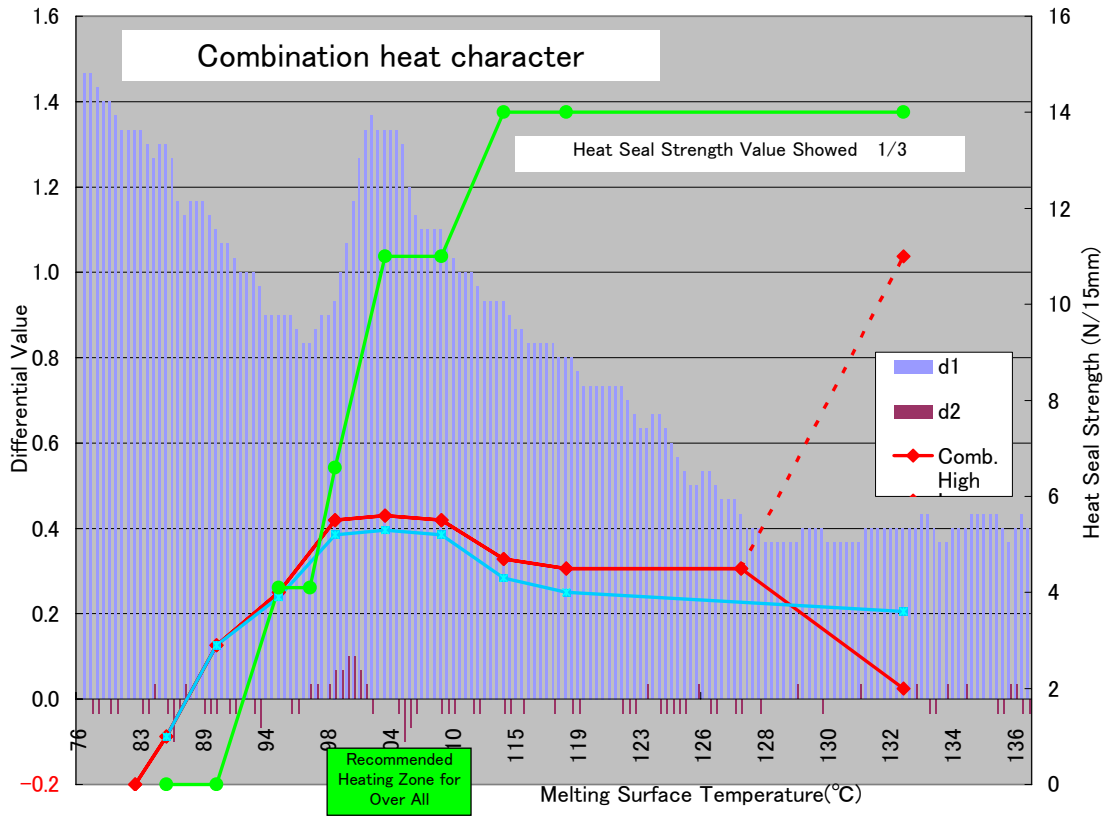


Figure13-1(c) Heat characteristic and heat sealing strength of combination

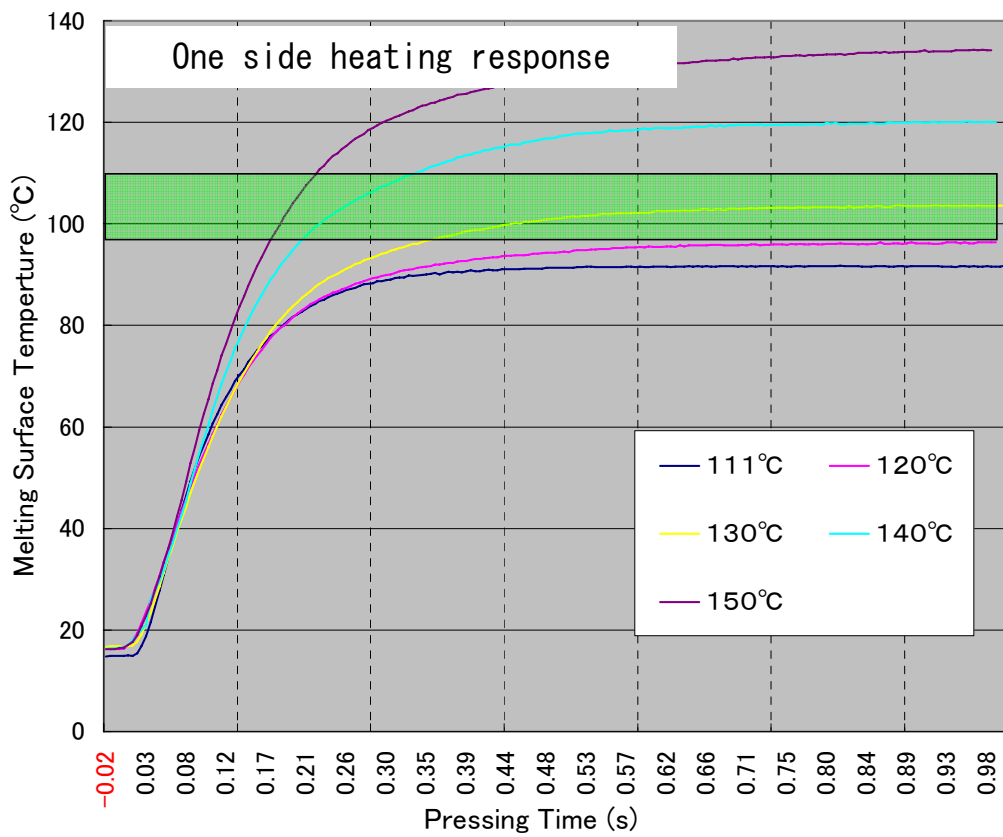


Figure13-2 Measurement example of the heating response (One side heating)

Table 13-1 Heat characteristic of the composition material

Character Material	Melting Start	Melting Complete	Shrink Start	Delami- nation	Base Film Melting start	Base Film Melted
Base Film	85 °C	100			127	132
Coat Film	95	104	110	114		
Combination	95	104				

Table13 -2 Best heat seal condition

[Surface temperature (°C) / arrival time (s)]

Surface Temp. (Timer Scale) (°C) Heating way	111	120	131	140	150
			(1)	(1.5)	(2)
Identical both side heating	0.25---	0.19-0.32	0.17-0.22	0.15-0.18	Too Fast
One side heating Low Temp.Side; (35°C)	Not enough	Not enough	0.36---	0.21-0.36	0.17-0.23
Impulse Heating			0.33--	0.35-0.43	0.30-0.40

13. 2. 2 紙カップ包装の蓋シールの不具合解析事例

(1) はじめに

紙製のカップはスナック食品、乳製品アイスクリーム等の汎用の Rigid 容器として利用されている。紙製カップは扇状に打ち抜いた厚紙を筒状にして重ね部分を接着している。

筒のトップとボトムは巻き込まれ、リブを形成している。リブは略 1 回転して作られているので、重ね部は 4 枚、それ以外は 2 枚の構成になる。この部位で顕著な熱溶着（ヒートシール）の不具合が発生したので、この発生原因の究明を行った。

(2) 課題の推定と検証方法の設定

2 枚と 4 枚重ねの部位に顕著に不具合が発生する原因が段差による伝熱の差に起因していることを検証するために「MTMS」キットを使用して、2 枚と 4 枚重ねの段差と 4 枚重ね部位の加熱応答を測定して、応答の相違を比較した。Fig. 13-3 に測定方法を示した。

(3) 解析結果

応答の測定結果の代表的なデータを Fig. 13-4 に示した。4 枚重ねの部位の応答は加熱温度の変化に対応した応答をしているが、段差の部位の応答は加熱温度の変化に対して、まちまちな応答をしていることを見出した。段差は 0.25mm 程度であるが、数十度の加熱温度差でも逆転が起こっている。第 5 章 (Fig. 5-9 参照; 圧着圧 (ギャップ) の応答に及ぼす影響) の検討の成果を応用して、不完全な接触の原因を究明した結果、蓋材の歪みによる当該部位の接触の仕方に影響を及ぼすことを再現実験で確認した。蓋の歪みと応答の関係の説明を Fig. 13-5 に示した。

この解析と再現実験の結果、段差部位の熱溶着の不具合の発生は、蓋材の 1/100mm レベルでの歪み部分が段差部位と重なり一致する複合起因で起こっていることがわかった。

この解析結果に基づいて、ヒートシーラントの厚さ、リブ部の剛性を残すような熱溶着時の圧着代 (ギャップコントロール) の調節、蓋材の歪の戻りでホットタックを起こさない冷却条件の提案ができた。

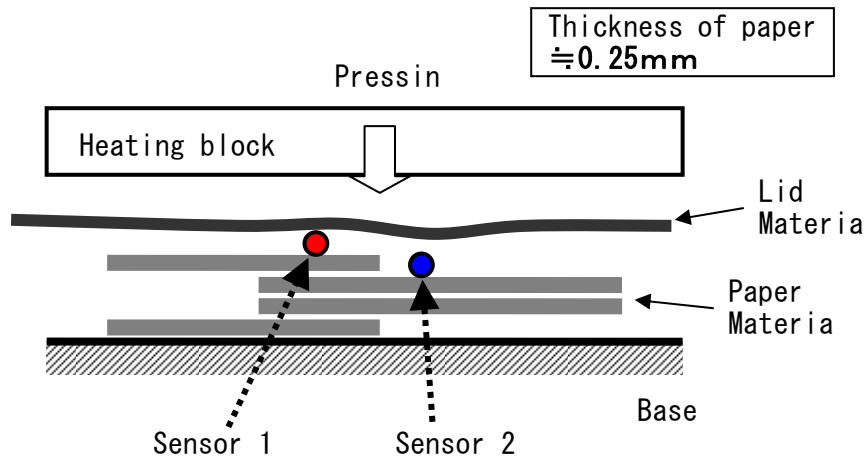


Figure13-3 Test method of the level difference confirmation

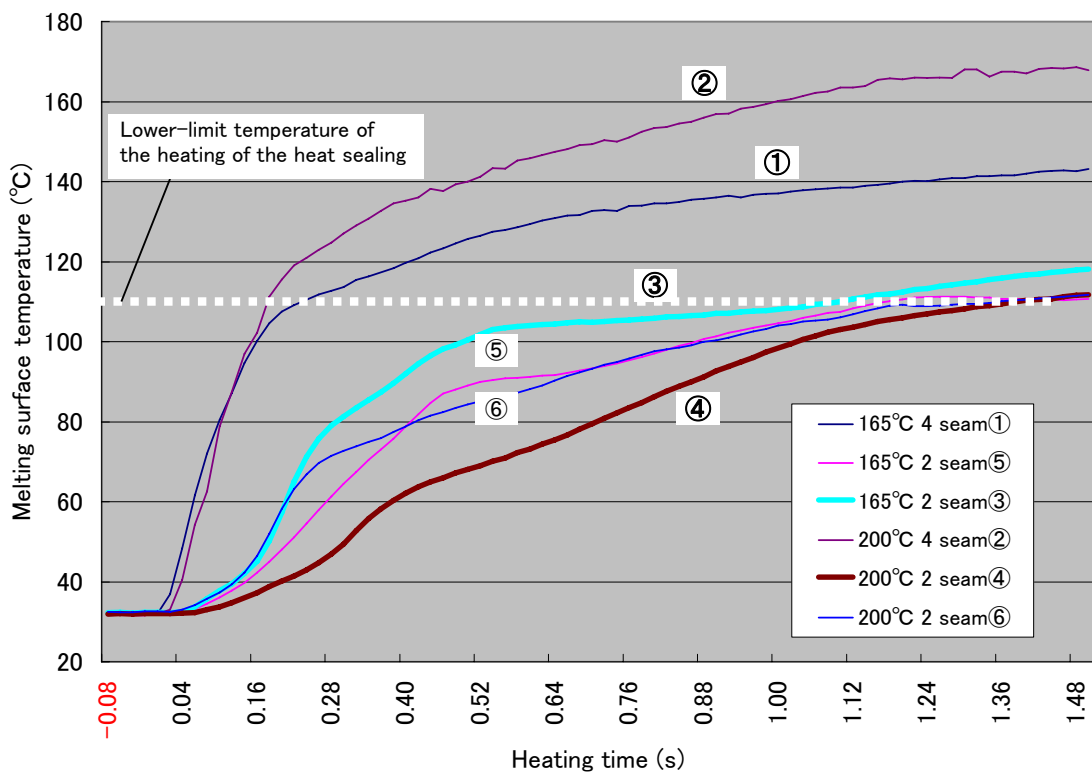


Figure13- 4 Test method of the level difference confirmation

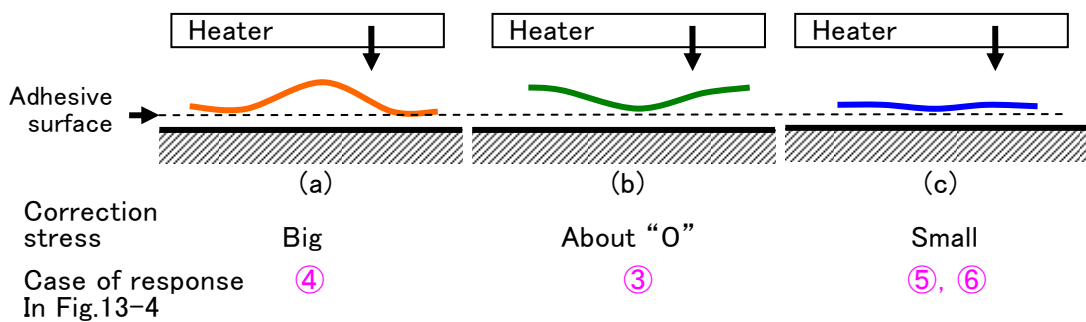


Figure13- 5 Test method of the level difference confirmation

13. 2. 3 改造した包装材料の性能改善の効果評価

(1) はじめに

熱溶着（ヒートシール）やバリア性に問題があると従来は適切な解析方法がなかったの
で、経験的にヒートシーラントやバリア層の材質や構成を変更していた。

この事例は高気密性の要求される電子部品の包装で、ヒートシールの際にアルミのちぎれ
が原因でピンホールが発生していると推定されたケースである。

表層材の入れ替えとバリア層をアルミから EvOH に変更したが、改造後も期待通りの改
善効果が得られなかった事例の原因診断に適用した例である。(第6章)で示した「角度法」
を適用して確認したものである。

(2) 試験の方法

溶着面温度をベースにして、JIS 法の引張試験と斜めにヒートシールしたサンプルに点
状に引張力を負荷する「角度法」で Peel seal と Tear seal の発生状況を検査した。

(3) 解析結果と考察

計測結果を1枚のグラフ上に連記したものを Fig. 13-6 に示した。

試験結果から、改造したサンプル(B)のJIS法でのヒートシール強さは改良が期待さ
れた包装材料(A)よりも増加していて材料の改善効果が上がったように見えたが、「角度
法」の測定結果からは(A)よりもエッジ切れが起こしやすい結果を示した。 サンプル
(B)の改造箇所は表層材のPETとNYL.の順番の入れ替えとガスバリア材を金属のアル
ミからEvOH(エバール;商品名)に変更している。

このケースの場合は相違箇所から考察して、EvOHとヒートシーラントのL-LDPEのラミ
ネーションに期待する改善効果を阻害する要因が現れた推定できる。

又、改造の論拠となった原因設定に不具合があったと推定される。

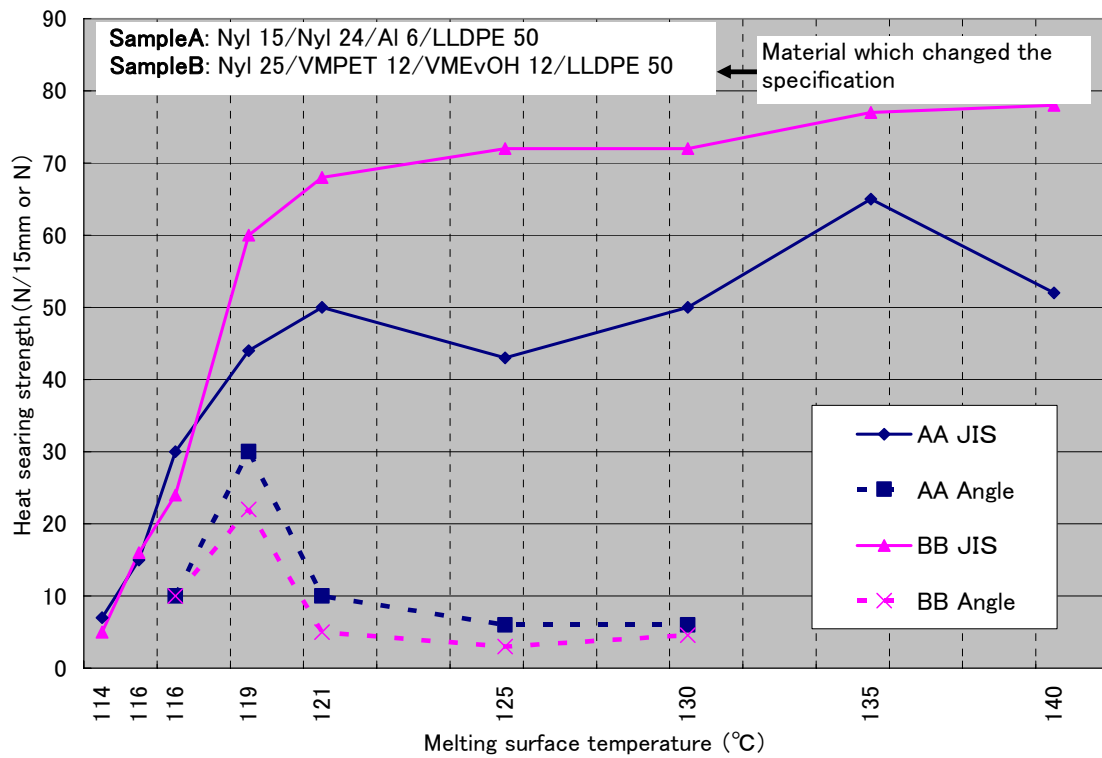


Fig.13-6 Test case of improved performance of the change of packaging material

13. 2. 4 生分解性プラスチックのヒートシール特性の精密測定

(1) はじめに

生分解性プラスチックは石油原料に変わる自然循環型資源として注目されている。しかし、自然原料を用いるため、不純物の混入が多く、高分子結合に欠陥が生じ易い。

ヒートシール強さも合成プラスチックに比べて低く、実用性の課題になっていて、普及の妨げになっている。しかし、市場に出ている製品のヒートシール強さは、適正な加熱温度のヒートシールではなく、適正なヒートシール強さを測定していない懸念がある。

(2) 検証の方法

熱特性の測定は(第4章)ので示した方法を使い、熱変性点温度を基点にサンプルをテフロンシートで挟んで、加熱後直ぐに約0.05MPの圧力で常温に冷却してヒートシールサンプルを作成した。ヒートシール強さはJIS法で測定した。

(3) 解析結果

熱特性の解析結果にJIS法で測定したヒートシール強さを併記したものをFig.13-7に示した。熱特性には77°C顕著な変曲点が見られるが、62°Cから溶着現象が現れ、68°Cで1次的な溶着の完成が見られた。この時のヒートシール強さ約4N/15mmであった。

77°Cでほぼ溶融していて83°Cでは液状化している。従って83°C以上の高温にすると原形を留めなくなるので加熱はテフロンシートで挟んで加熱し、直ぐに室温まで冷却をした。83°C以上の高温域の加熱は溶融成型状態の接着になり、厚さがわずかな応力で簡単に変化したり、ピンホールが簡単に生成する不安定な状態であることが観察で分かった。

(図中に解説してある)

この結果を総合すると

適正加熱温度 : 68-83°C

発生ヒートシール強さ : 4 N/15mm

を得ることができた。このサンプルの製造元のTreofan社のカタログには

ヒートシール温度レンジ : 80-130°C

ヒートシール強さ : 2 N/15mm 以下

が示されているが²⁾本研究の検討結果とは加熱温度レンジがかなり異なった結果がており、特に加熱温度帯はヒートシールには不具合な温度領域を提示しているのが分かった。

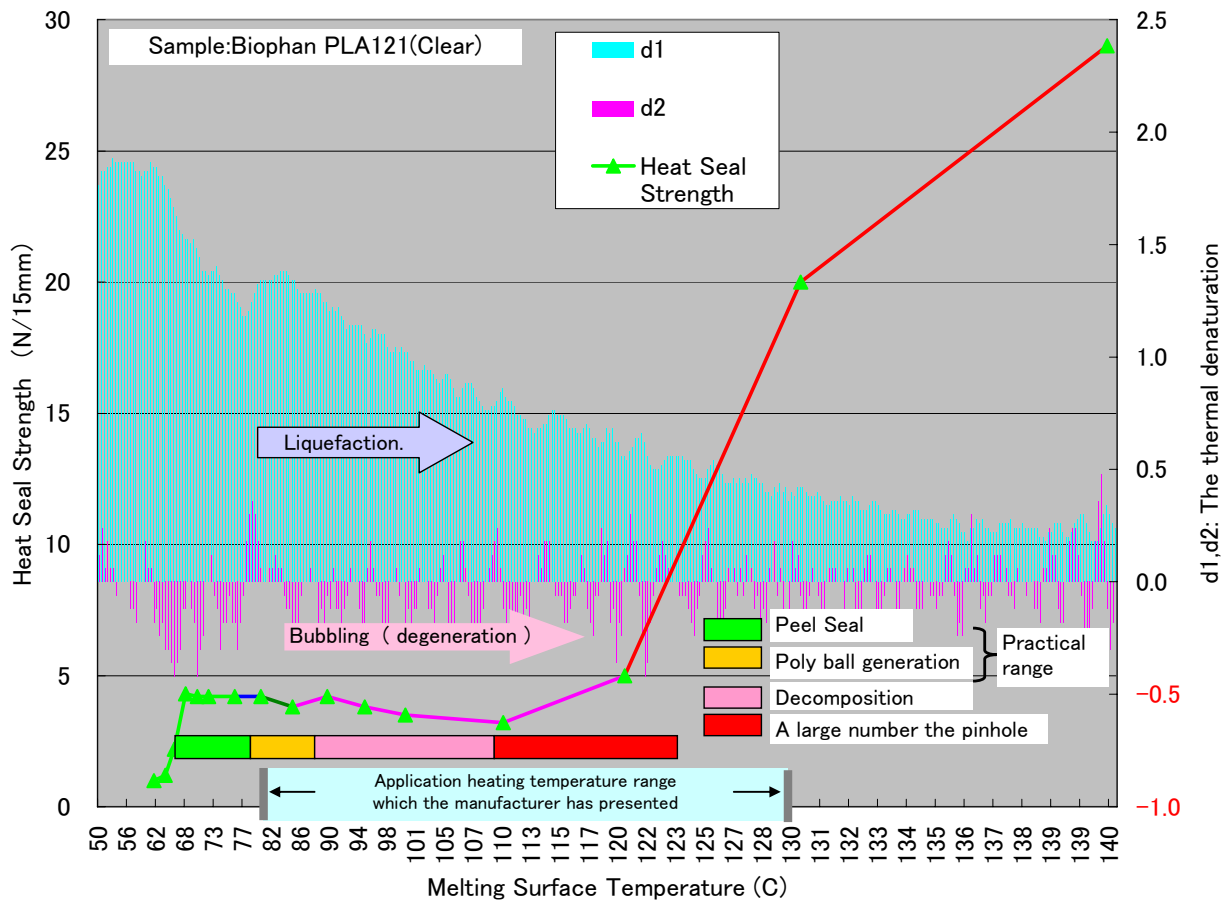


Figure 13-7 Example of heat sealing characteristic of the biodegradable plastic

13.3 参考文献

- 1) 旭・デュポンフラッシュスパンプロダクツ社ホームページ
<http://www.tyvek.co.jp/medical/>
- 2) Treofan 社(ドイツ) BIOPHAN[®]カタログ

第14章 総括

14.1 本研究の総括

現在の包装では、「包む」という従来機能に加えて被包装物の長期品質保証のために、外部からの微生物、有害物質、酸素、水分の侵入防止や内部からの香気成分、水分等のガス成分の流出防御に係わる密封性の機能が求められている。この機能を満たす材料として、プラスチックが調理済み食品、注射薬剤、服用薬品、乳幼児用品、介護用品、菓子類、トイレタリー品、防錆、防湿を必要とする電子部品、精密機械部品等の保護のためのあらゆる分野で利用され、人々の日常生活と生産活動に不可欠なものになっている。

プラスチックのシートやフィルムを利用する包装では、古くからプラスチックの熱可塑性を利用して加熱と冷却によって容易に接着のできる熱溶着（ヒートシール）を適用して接着を行い、袋、容器を作ってきた。

熱溶着（ヒートシール）による密封性の確保には、接着面のピンホールや破れを防御して分子レベルで制御された溶着を必要とする。熱溶着には加熱温度依存性があり、低温度域では界面剥離する剥がれ接着（Peel seal）が、高温度域ではピンホールや“ポリ玉”と呼ばれる樹脂塊状物などが発生する破れ接着（Tear seal）が起き、それぞれ破壊特性の異なる溶着が発現する。不具合のない接着のためには接着面（溶着面）の正確な加熱温度調節が重要な因子となる。

従来は、溶着面の汎用的な温度計測技法が提示されてなかったこともあって、加熱源の温度を基準にした熱溶着後のサンプルを日本工業規格（JIS）や American Society for Testing Materials (ASTM) の規定に従って破断、荷重、衝撃試験と壊れの観察により検査するのが常であった。換言すれば、加熱温度をパラメータにしたプラスチック材料の熱接着状態と接着特性との関連を正確に把握することは行われていなかったのが現状である。

本研究は、溶着面温度をパラメータとして材料の接着性を再検討し、従来の定性的・経験則的な解析との比較検討、そして得られた結果から提案する評価方法の改善と材料の接着特性に適した熱溶着（ヒートシール）の加熱方法の最適化に関するものである。

以下に、主たる概要を述べる。

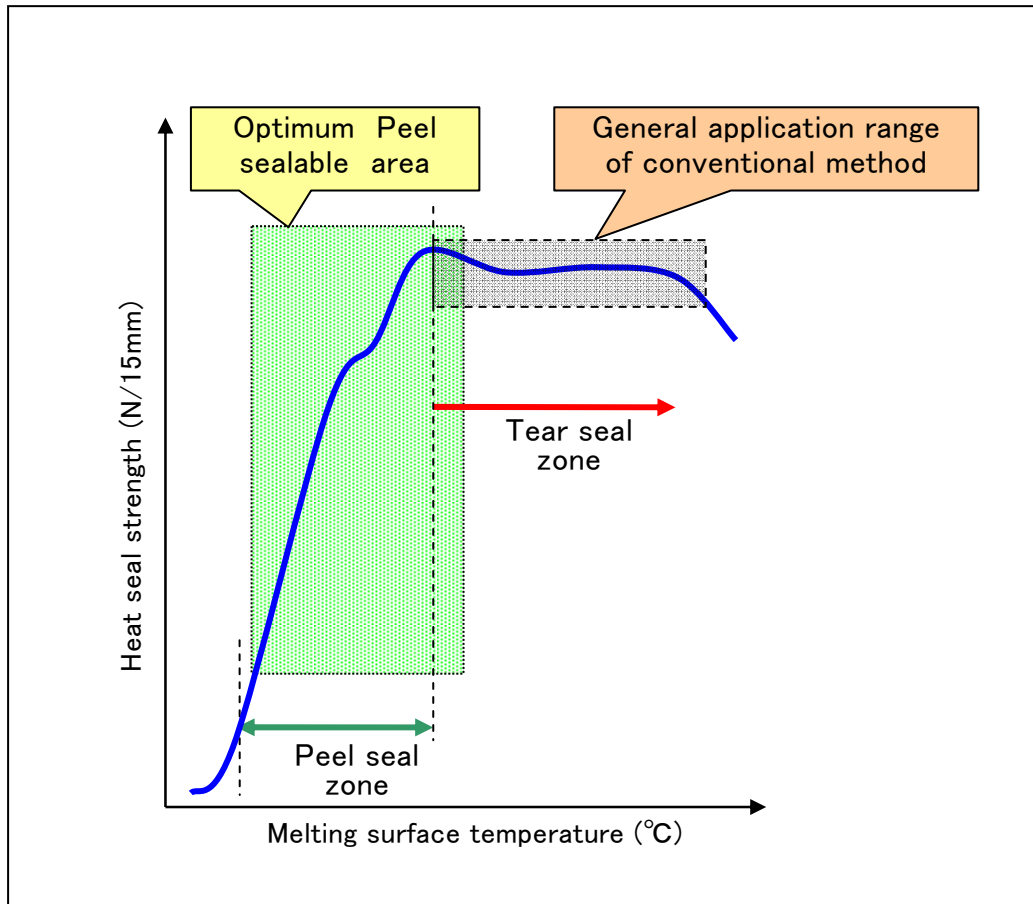


Figure 14-1 Comparison description of application range which conventional method and in this study

14.2 本研究成果の総括

熱溶着（ヒートシール）の加熱温度の最適化には、加熱温度と熱溶着の関係を把握することが重要であることを明らかにしてきた。さらに、溶着温度をパラメータにして、熱溶着の諸現象を説明することを示す必要があった。Fig.14-1 は、熱溶着温度とヒートシール強さをパラメータとして、従来法と本研究の溶着領域の比較を示したものである。

本研究は、Peel seal と Tear seal の両方の発現領域を対象にしていることが特徴である。研究目的に沿って検討した結果を以下に列挙する。

14.3 本研究の成果の列挙

1. 従来試験法の検討と課題の抽出

[第2章]

熱溶着（ヒートシール）部分の品質試験に関する試験法として、国際規格である American Society for Testing Materials (ASTM) および日本工業規格 (JIS) を取り上げ精査した。接着関連事項では、両者とも引張試験法が準用されており、溶着線に直角の引き裂き応力を掛けて、その強さの大小で判定し、試験体巾に掛った均一応力に対する破れ力を計測することになっている。工業的実機での熱溶着では、高温加熱で発生する溶着層（ヒートシーラント）のはみ出しによる“ポリ玉”の生成や内容物容積から発生する接着部への応力が原因となる破壊が起きる。これらはヒートシール線の一部に発生した弱い部分への応力集中に起因するとされている。しかし、上記規格ではこれら応力集中部での破壊応力は無視され、破壊部と接着部の単なる平均応力が測定されることを見出した。

2. 溶着面温度測定法の検討

[第3章]

前述したように確実な熱溶着（ヒートシール）には、熱溶着面の温度が大きな決定因子となるので、溶着面の定量的な解析には溶着面温度の動的変化を瞬時にかつ直接的に把握できる計測法が必要であると考えた。熱電対を使った測定システムの構築の検討を行った。

自作した微細な温度センサを使用して薄い溶着部での温度測定を行ったところ、温度計測の再現性や検出温度の精度などにおいて満足すべき結果が得られた。

この結果は、高い応答特性と検出精度（温度の再現精度：0.1℃、応答速度：1/100秒）

を持つ溶着面温度測定装置の開発に繋がった。

3. プラスチック材料の熱溶着（ヒートシール）特性の測定法の検討 [第4章]

適正な熱溶着のためには、材料毎の熱溶着層（ヒートシーラント）の加熱温度と溶着強さの関係を知らることが重要である。そこで、材料の溶着面に微細センサを挿入し、予測溶融温度よりも数十度高い温度で加熱した溶着面温度の応答を検討した。取得データには材料の軟化、液状化、含有物の部分的な気化温度に対応したわずかな変化が現れることを見出したので、取得データの微分演算処理を行い、変化点の温度を検出した。大きく変化する温度付近を中心にして、1～2℃刻みの温度でヒートシールサンプルを作ってヒートシール強さを測定した結果、加熱温度と Peel seal の発現との関係が正確に把握できた。この結果は、Peel seal ゾーンと Tear seal ゾーンの基本的な識別に応用できることが判明した。

4. 従来加熱法の適否の検討 [第5章]

熱溶着に関係する従来法での不具合の発生を最小限にするための条件を溶着面温度をパラメータに検討した。種々の検討の中、圧着圧とヒートシール強さの関係、加熱体の表面にテフロンシートを貼る効用、片面加熱のリスク等において、従来の常識とかなり異なる以下のような知見が得られた。

(1) 従来は圧着圧によってヒートシール強さが調節できるとされていたが、圧着圧が小さい場合は、熱伝導が不足すると溶着面の接触の不完全によってヒートシール強さが変わる。0.1～0.2MPa のヒートシール強さでほぼ一定となるが、これより強い圧着では、溶着層が押し出され“ポリ玉”が生成されるようになり見かけ上の強さは大きくなる。

(2) 加熱の安定化に効果があるとの理由から、加熱体にテフロンシートを貼り付けることが常用されているが、この方法ではテフロンが伝熱を抑えるため、溶着面を所定の温度に加熱しようとする加熱体を高温化することになる。

従って、この加熱体の高温化を防ぐためにテフロンを装着せずに低温で加熱した場合の方が安定したヒートシールが得られる。以上の実験で得られた圧着圧と接着面の状態の知見から、熱溶着に多大な悪影響を及ぼす“ポリ玉”抑制のための圧着ギャップの提案が

できた。また、溶着部の適正加熱には従来のテフロンシートは不要であり、加熱体の直接接触により溶着部の熱安定化をもたらす加熱体の低温化に反映できることが分かった。

5. 剥がれシール(Peel seal)と破れシールの(Tear seal)識別法の検討 [第6章]

最適な熱溶着を行なう条件を得るには、各材料毎の加熱温度によって発現する Peel seal と Tear seal を的確に判定する方法の開発が必要となる。Tear seal では微少部位に応力がかかると簡単に破れが発生することを見出した。従来法と異なるヒートシール線を直角ではなく“斜め”にシールを行なって、応力が点で作用する新引張試験法を考案し、それぞれの剥離パターンを計測した。Tear seal では斜めの引張線上でちぎれが発生するが、Peel seal では三角形に剥離して、加熱温度の違いによる識別ができることが分かった。

[3] の熱溶着特性の測定法でも識別法について述べたが本法は微細部位に応力をかけた試験法なので実際に近い識別ができる特長を有していると判断した。

6. Peel seal における剥離エネルギーによる評価の検討 [第7章]

工業的な熱溶着不良の殆どはピンホールとエッジ切れである。一般的には破断を回避するために局部応力を緩衝する方法が採られている。Peel seal では微細部分に掛った応力でも剥がれを起こし、破れないところに着目して、数種類の Peel seal 温度帯のヒートシールサンプルを作り、剥がれ巾と引張応力からそれぞれの剥離エネルギーを計算し、Peel seal 帯の剥離エネルギーデータ群を作った。破れシールの破れエネルギーは破断点まで、剥がれシールは剥離距離までの剥離エネルギーの計算値を取り出して2つの関係を調べた。この結果 7.5mm の剥がれ巾で破れエネルギーを超すことが分かった。実際の剥がれは微細部位からほぼ半円状に剥離していたので、剥がれ線の長さで剥離面積の補正をすると剥がれ巾が有意になるのは最小 5mm となることが分かった。

従来はヒートシール巾の設定根拠が明確にされていなかったため、Peel seal の適格な条件設定ができなかったが、本研究の知見により、最適な溶着のヒートシール幅と Peel seal 条件が設定できるようになった。

7. ヒートシーラントの厚さとヒートシール強さの関係の検討

[第8章]

熱溶着（ヒートシール）のトラブルの対策として、一般にヒートシーラントを厚くする方法が採られている。しかし、溶着の強さは溶着部での取りうる形態により異なるため、材料の厚み増加が一義的に熱溶着を改良できるとは限らない。そこで、ヒートシールの厚さとヒートシール強さの関係を調べることにした。ヒートシーラントの実際の厚さが3~7 μ mの包装材料を用いて、精密な温度調節と圧着により作成したサンプルの引張試験を行った。この結果、3~5 μ mで包装材料の持つ固有のヒートシール強さが発現していることを確認できた。レトルト包装などの汎用フィルムのヒートシーラントの厚さは30~100 μ mが常用されているが、これでは溶着目的に対しては過剰品質となっていることが分かった。

8. イージーピール性能の検出の検討

[第9章]

イージーピールは相反する封緘機能と開け易さの性能を両立する技法である。このバランスのためには、包装材料のPeel seal性能の発現を定量的に測定することが重要となる。

イージーピールに適用されている共重合体を混入した包装材料を使い、溶着面温度と圧着を正確に調節してヒートシールサンプルを調製し、引張試験機を用いて、引張応力パターンを検討した。記録波形の変化する最大値と最小値から包装材料中の共重合体成分と材料本体成分が溶融する各加熱温度で得られるヒートシール強さを検討した。その結果、最大値のプロットグラフから包装材料のPeel seal能力が見出されることが確認された。

各温度条件によるPeel seal特性にイージーピール条件を当てはめることで、適切な加熱温度域を選択することができた。

この結果は後に述べる「適正加熱範囲」の決定に重要なデータとなった。

9. 熱溶着のHACCP対応性の検討

[第10章]

レトルト食品はHACCP認証法により安全性の保証が得られる。この認証法ではレトルト包装の熱溶着（ヒートシール）が主要な関連技法であるにもかかわらず、製品の抜き取りによるヒートシール強さや荷重試験などの事後審査の方法が採用されているため、製品の製造前に予測する方法が求められていた。そこで、研究室スケールで熱溶着（ヒ

ートシール)の基本性能を評価できる本研究の諸要素をH A C C Pの実施の7項目へ適用する検討を行った。特にH A (Hazard, Analysis)に着目して行った実験から溶着完成度の事前評価のできることが分かった。

10. 1条件の測定データから任意条件の適正溶着面温度への拡張のための

シミュレーション方法の検討

[第11章]

熱溶着(ヒートシール)の「適正加熱範囲」の設定には、それぞれ数℃刻みの溶着面温度の応答データが必要であった。もし、1~2の少ない温度条件での実測データを基に熱溶着(ヒートシール)の「適正加熱範囲」を推測することができれば便利である。

加熱による物体の温度上昇パターンは物体の持つ熱容量と伝熱特性で決定される。

そこで、実測データの温度勾配と予測したい溶着面温度の始終点温度の勾配の比を利用して、始点温度の移動を相似的に加減算補正することに着目して、「適正加熱範囲」をシミュレーションする方法を考案した。このシミュレーション結果と実測値の間に良好な一致を見た。この知見は次の熱溶着(ヒートシール)の信頼性の検証に有効に利用できることが分かった。

11. 熱溶着の信頼性の保証と加熱の高速化を両立させる実施方法の検討

[第12章]

熱溶着(ヒートシール)の加熱温度の最適化に関する諸要素の検討を製造現場に反映させるためには現場の製造装置に直接反映できる「適正加熱範囲」の設定方法が必要である。「適正加熱範囲」を決める要素として、

- (1) 過加熱の防御の上限温度、
- (2) 加熱不足とイージーピール制御から決まる下限温度、
- (3) 現場の温度精度、バラツキ、・設定条件の振れ巾を容認するマネジメント、

を提案した。適正温度範囲の許容度と製造における高速性と高信頼性を両立させる2段加熱法の適用を提案した

12. 本研究の汎用性の検討事例

[第13章]

医療品包装、スナック食品包装、電子部品包装、生分解性プラスチックの実際の場面

で発生している事例に適用して、本研究の解析と改善性能を試した。

それぞれの課題に対して、最終的には溶着面温度を基点にした解析をすることにより改善できることを示した。

13. 総括

プラスチックの包装材料の最適な熱溶着（ヒートシール）を行なうには、接着面（溶着面）の適正な温度調節が不可欠であるとの観点から、溶着面温度管理を可能とする溶着面温度測定装置を試作し、種々の検討を行った。その結果、従来の熱溶着では、「包装材料が完全に熱溶融していれば十分な溶着となる」との考えから破れシール（Tear seal）が発生し易い過加熱に常態的に偏っていたと推定された。また、溶融接着に一般的に利用されている JIS や ASTM の試験法は巾の広い溶着線の平均的な引張強さを計測する方法なので、現場での検査では溶着部の微細部分への集中応力発生による不具合の評価には、必ずしも適合しないものであると判断された。そして、熱可塑性のプラスチックを包装材料として有効に利用するためには、熱溶着の発現する Peel seal と Tear seal ゾーンの境界付近の温度帯を巧く利用することが有効であると判断した。これらの知見から、確実な溶着には Peel seal が有用であり、これを実現可能とするには、工業的に操作し易い加熱設定により安定した熱溶着をもたらす広い温度帯の Peel seal ゾーンを有するプラスチック包装材料を開発することが重要と考えられる。

そして、上述した溶着面温度の測定装置が適切な溶融温度域を持つプラスチック材料のスクリーニングにおいても活用できるものと考えている。

各章の相互関係と関連分野への展開を **Fig. 14-2** に集約してみた。

Fig.14-2 Cooperation map with the interdisciplinary of this study

14.4 熱溶着（ヒートシール）の新しい解析と管理法の提案

現在以下のようなことが関係者の間で理解されているが、補完する方法が提示されてなかった。

- ・ JIS や ASTM^{1),2)} の試験法は巾の広い溶着線の平均的な引張強さを計測する方法で、現場で起こっている微細部分への集中応力による不具合発生の検査と評価には、必ずしも適合していない。
- ・ 従来の課題は過加熱状態で起こっている現象であることは理解されている。
- ・ プラスチックの包装材料の熱溶着（ヒートシール）の確実な達成には、接着面（溶着面）温度をパラメータにした評価が必要とされている。

熱可塑性のプラスチックを包装材料として有効に利用するためには、Peel seal と Tear seal ゾーンの境界付近の温度帯を巧く利用することが有効であることが分かっている。

- ・ ヒートシールは加熱温度によって成立するが、現行の評価方法には温度のパラメータがない。
- ・ 包装材料のヒートシール強さを提示するには（世界的にも）《加熱時間》と《圧着》条件が付記されているが、この提示条件は再現性が乏しく実際の生産活動への適用が困難である。

本研究のまとめの一環として、今まで論じた知見を整理して、JIS, ASTM の試験法を補完する新規な「管理法」として提案する。

14.4.1 新しいヒートシールの解析と評価の展開案

I. 包装材料のヒートシール特性の測定方法

1. 引張試験サンプルの作り方

1-1 15mm巾の加熱サンプルの作り方

1-1-1 加熱サンプルの巾: 20~25mmの範囲の1点を選択

1-1-2 圧着ギャップ : (包装材料の厚さ) × (1.0~1.5)

[Fig. 14-A] 参照

1-1-3 初期圧着圧 : 0.15~0.2 MPa

(同一荷重でもサンプル巾が変わると圧着圧が変わることに留意)

1-1-4 溶着面温度³⁾ベースの加熱サンプルの作る手順

(第3章参照)

1) “MTMS”を適用して所定の加熱装置の加熱部位付近の表面温度を測定する

2) 試験片に“MTMS”センサを挿入して、溶着面温度の応答を測定する。

3) 応答から表面温度の約70%の到達時間を取得し、その5~7倍の時間を得る [Fig. 14-B] 参照

4) 得られた時間を当該加熱サンプルの作製時間として使用する。(加熱温度に関係なく同じでよい)

5)加熱後速やかに常温の冷却体を 0.03~0.05Mpa で密着させて冷却する。

1-2 15mm巾の引張試験サンプルの作製寸法

- 1)[1]で作製した加熱サンプルのシール面を所定の 15mm巾にして、ヒートシール線を起点にして、
台形に裁断する [Fig. 14-C] 参照
- 2) ヒートシールエッジから引張応力点までの長さは 30mm以内 [Fig. 14-C] 参照

※台形カットサンプルの引張試験のパターンを従来法との相違を Fig.14-3 に示した。

1-3 「角度法」⁴⁾の引張試験サンプルの作り方

(第6章参照)

- 1)加熱サンプルの巾:20~25mmの範囲の1点を選択
- 2)圧着ギャップ : (包装材料の厚さ) × (1.0~1.5)
- 3)初期圧着圧 : 0.15~0.2 MPa
- 4)加熱温度: 溶着面温度ベースで加熱 ※1)~4)は[1-2]と同様に作製
- 5)加熱バーと試料の角度: 40~45° で加熱作製 [Fig. 14-D] 参照

2. 引張試験方法

2-1 引張試験速度: 50~100mm/分

2-2 引張強さ力の連続デジタル記録

2-2-1 立ち上がり波形の観測:

- 1)ヒートシールの直線性;途中の微細な変化を観て“ポリ玉”の発生の是非の確認
- 2)試料の伸び特性の確認;(dT/dL) ※剛性の大小の判断に使用する。 [Fig. 14-E] 参照

2-2-2 最大値の変化:最大値/最小値の計測⁵⁾: (第10章参照) [Fig. 14-F] 参照

- 1)Peel Seal 状態の定性
- 2)Co-Polymer の機能発現の定性

3. 採取データの利用の仕方

3-1 Peel Seal 領域の決定:[1-3]の各温度のデータを溶着面温度ベースのグラフに統合して、
変曲点の温度を抽出して、この溶着面温度を Peel seal と Tear seal の境界温度とする。

3-2 適正上限加熱温度の決定:[3-1]で抽出した最大の引張強さより20%低下する引張強さに
相当する溶着面温度を上限温度とする。 (第6章参照) [Fig. 6-6] 参照

4. 加熱時間/圧着時間の決定方法

4-1 加熱体の表面温度と溶着面温度の関連の計測方法

- 1)想定温度範囲(5本程度)の加熱温度をパラメータにした包装材料の表面と
溶着面温度の応答曲線の図と表を作成。 (第3章参照) [Fig. 4-10] 参照
- 2) [3]で得た上下限温度を挿入して加熱温度と加熱時間のマトリックスを作製する
- 3)詳細解析に必要な温度応答はその温度の前後のデータを使用して、「応答シミュレーション」で
補完する (第11章参照) [Fig. 11-7, 8] 参照

4-2 テフロンコートをする場合の決定方法

- 1)加熱体の表面に現場で使用するのと同じのテフロンコートをし、[4-1]と同様操作によって
加熱温度と加熱時間のマトリックスを作製する。 (第5章 5.4.4 参照)

II 製品のヒートシール強さの評価の仕方

1. サンプル箇所

- (1) 直線部
- (2) コーナー部 [Fig. 14-G] 参照
- (3) ダブルヒートシール部
- (4) 15mm巾のサンプリングが困難な場合は可能な巾でのテストを行い15mmに比例換算すればよい。
(カット巾の精度に留意)
- (5) 直角サンプルの採取が困難な場合は「角度法」サンプルでよい。
[重要な Peel Seal, Tear Seal の識別はできる]

2. 引張試験片の作製方法

2-1 JIS法の試験片の作り方

2-2 「角度法」の試験片の作り方

共に I. 包装材料のヒートシール特性の測定

1. 引っ張り試験サンプルの作り方 に準拠

- (1) 15mm巾のサンプリングが困難な場合は可能な巾でのテストを行い15mmに比例換算する
- (2) 直角サンプルの採取が困難な場合は「角度法」サンプルでよい。

[Peel Seal, Tear Seal の識別はできる。]

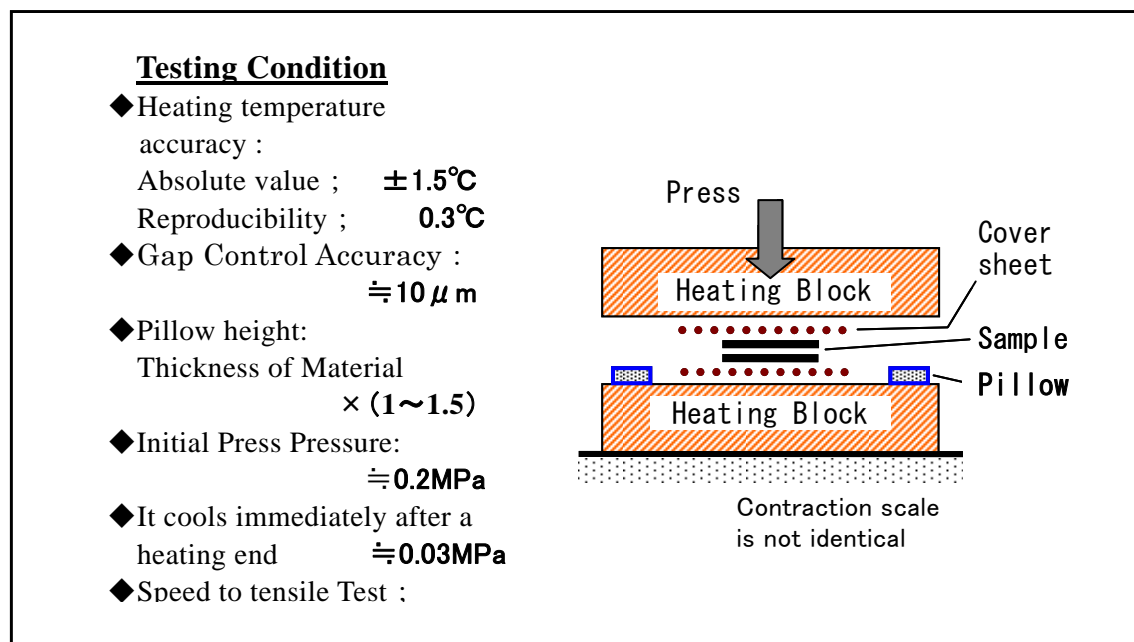


Fig. 14-A Experiment conditions required for quantities evaluation of heat sealing

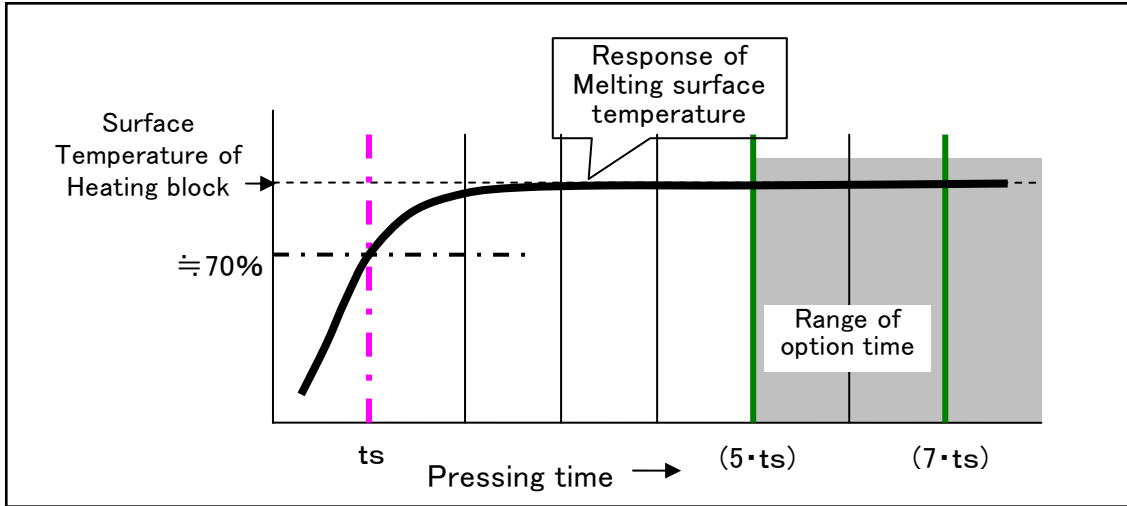


Fig. 14—B Decision procedure in the press time

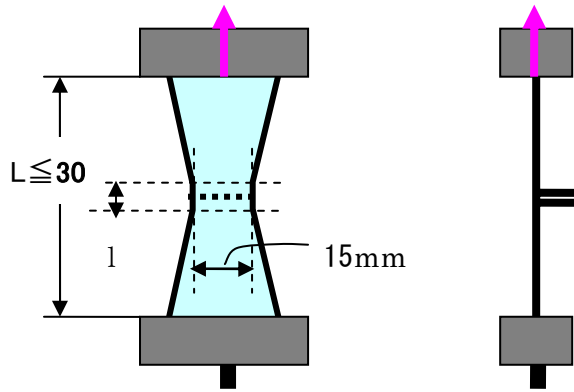


Fig. 14—C Trapezoidal cut finish of the tensile test sample and Length

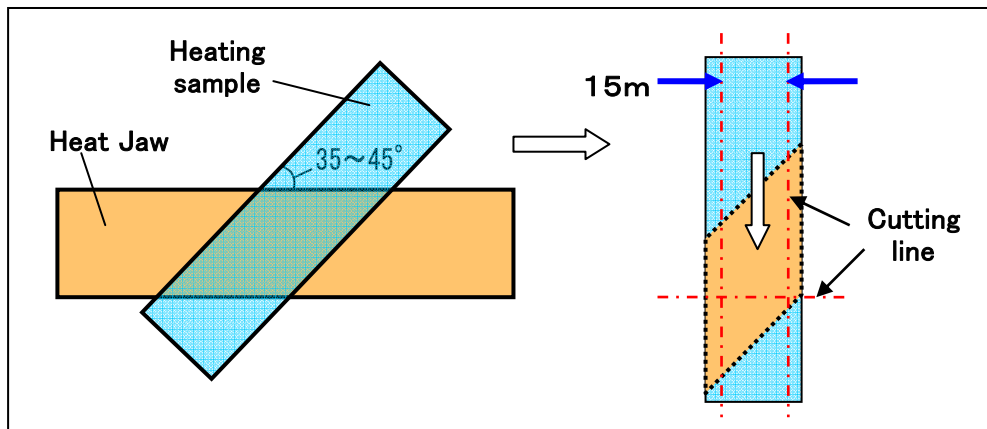


Fig. 14—D How to make of heating sample of the Angle Method

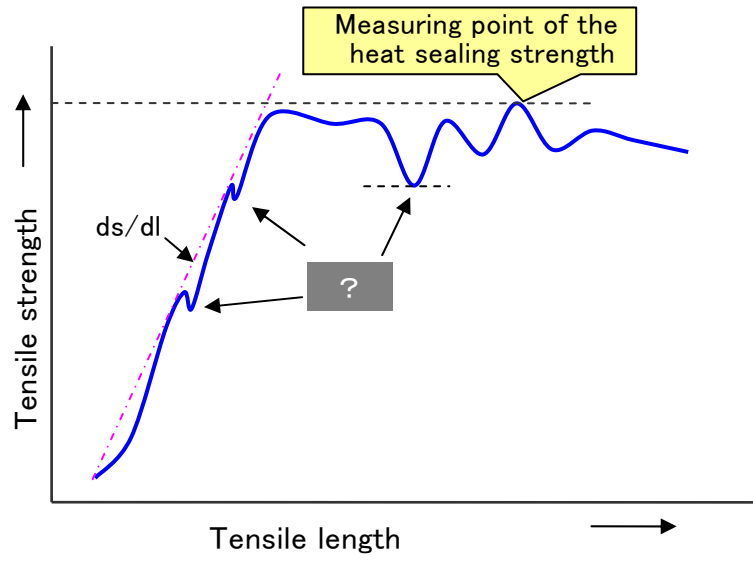


Fig. 14—E, F Observation point of the tension pattern

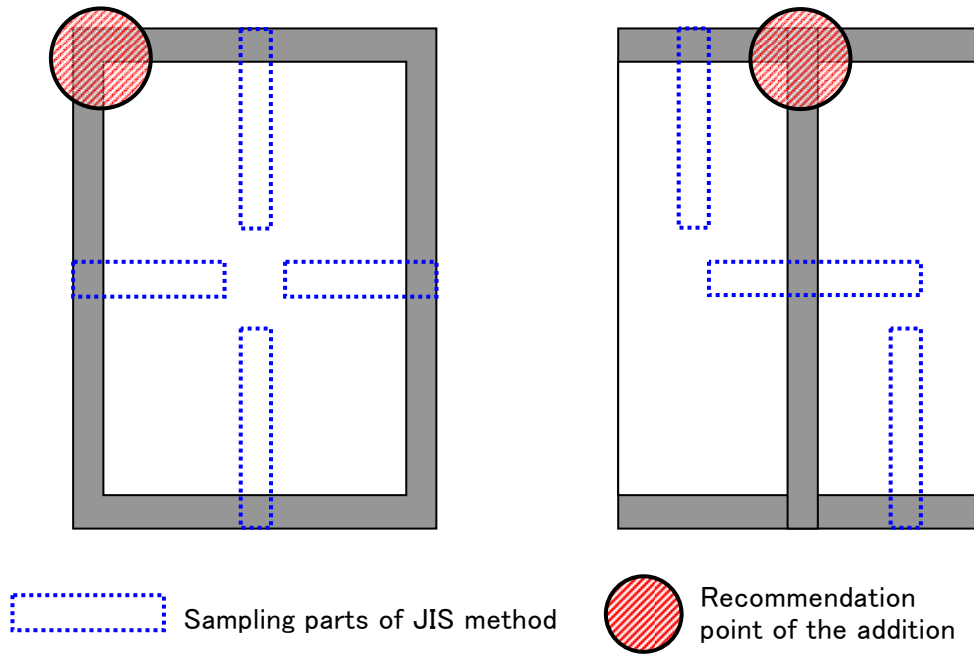


Fig. 14—G Sampling point of the tensile test

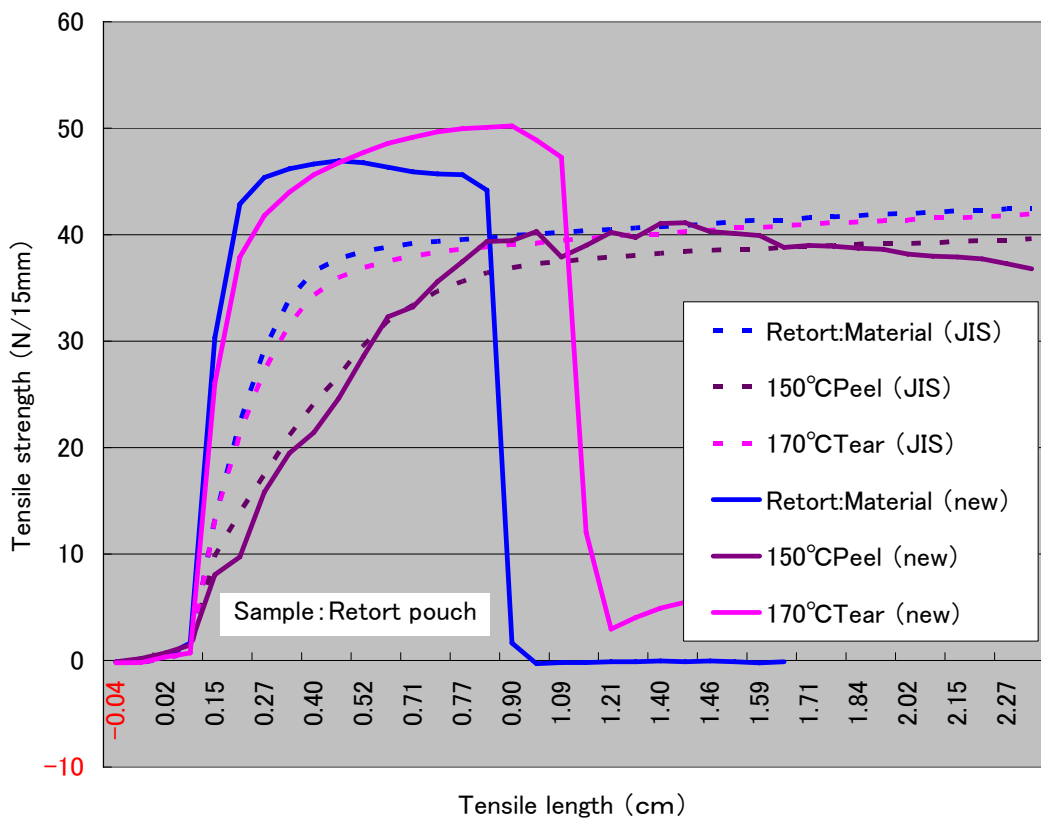
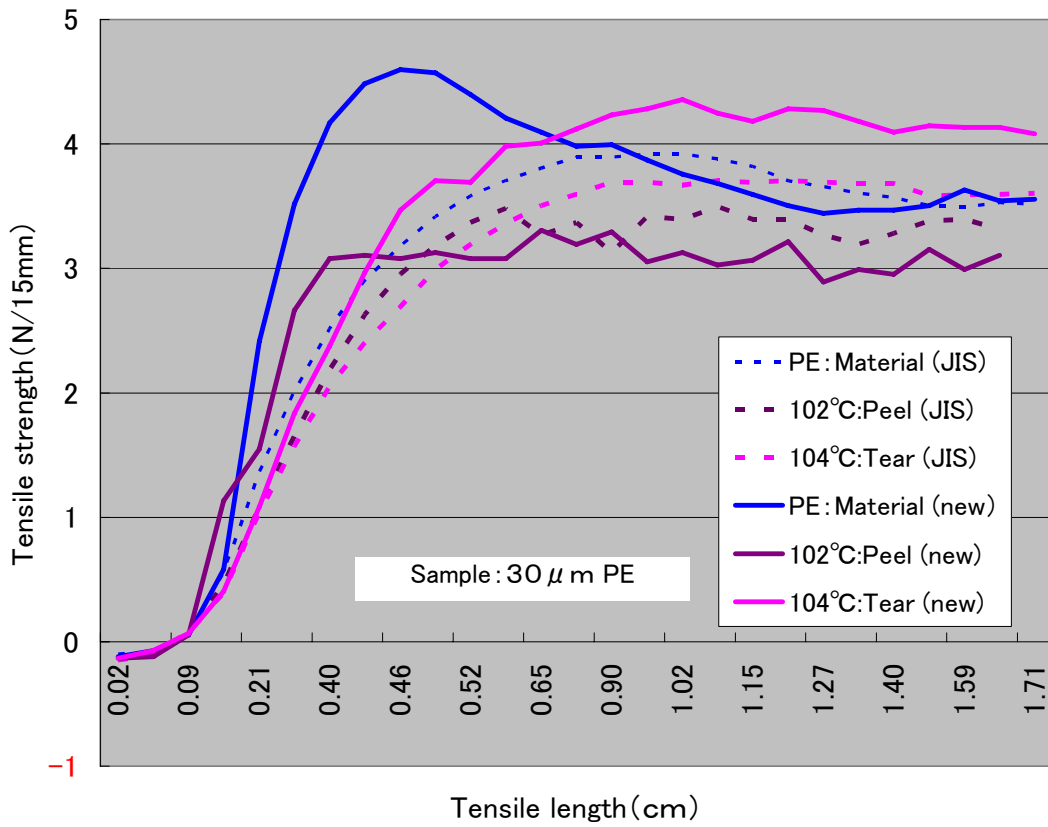


Figure14-3 Change of the tensile test pattern by the trapezoidal cut

14.5 ASTM《F88-00》に提起されている課題の本研究での評価

Fig.14-4 (Fig.2-2) に示したようにASTM《F88-00》には、7種類の「壊れパターン」が示されて、引張試験の測定値に壊れ方の例示をするように推奨している。この分類はヒートシールの引張試験で得られる状態を比較的良好に表現している。

しかし、従来は図に示された壊れ方の解析が困難だったので、再現する加熱方法（条件）の具其他的な例示ができない。⁶⁾ この壊れ方の発生解析がある意味では、従来の熱溶着（ヒートシール）の課題の解決でもあると言える。

本研究を適用して、7種の「壊れ方」を解析と検討をした結果を Table14-1 に示した。判定は記号で表した。併せて改善対策を付記した。

◎：順当な操作

○：過加熱（Tear seal）によって融着

（ $F_H > F_S$ ）となっているためにヒートシーラント又は材料が伸びている

Peel seal にすれば伸び発生がなくなり伸びによるデラミやピンホールの発生を防止できる

◆：過加熱（Tear seal）によって融着、過加熱で材料がダメージが顕著

「適正加熱範囲」での操作が必要

●：融着面が冷却しない溶融温度中引き裂き応力が付加した時起こる

ホットタック（Hot tack）、溶融温度以下に空冷される時間帯に押したり、衝撃を与えないようにする。好ましくは加熱工程の後に冷却プレス工程を設置する。

全ての項目について明確に発生原因の説明ができ、本研究の有用性の一端を確認できた。本解析の主要な論拠は（第8章8.4）によった。

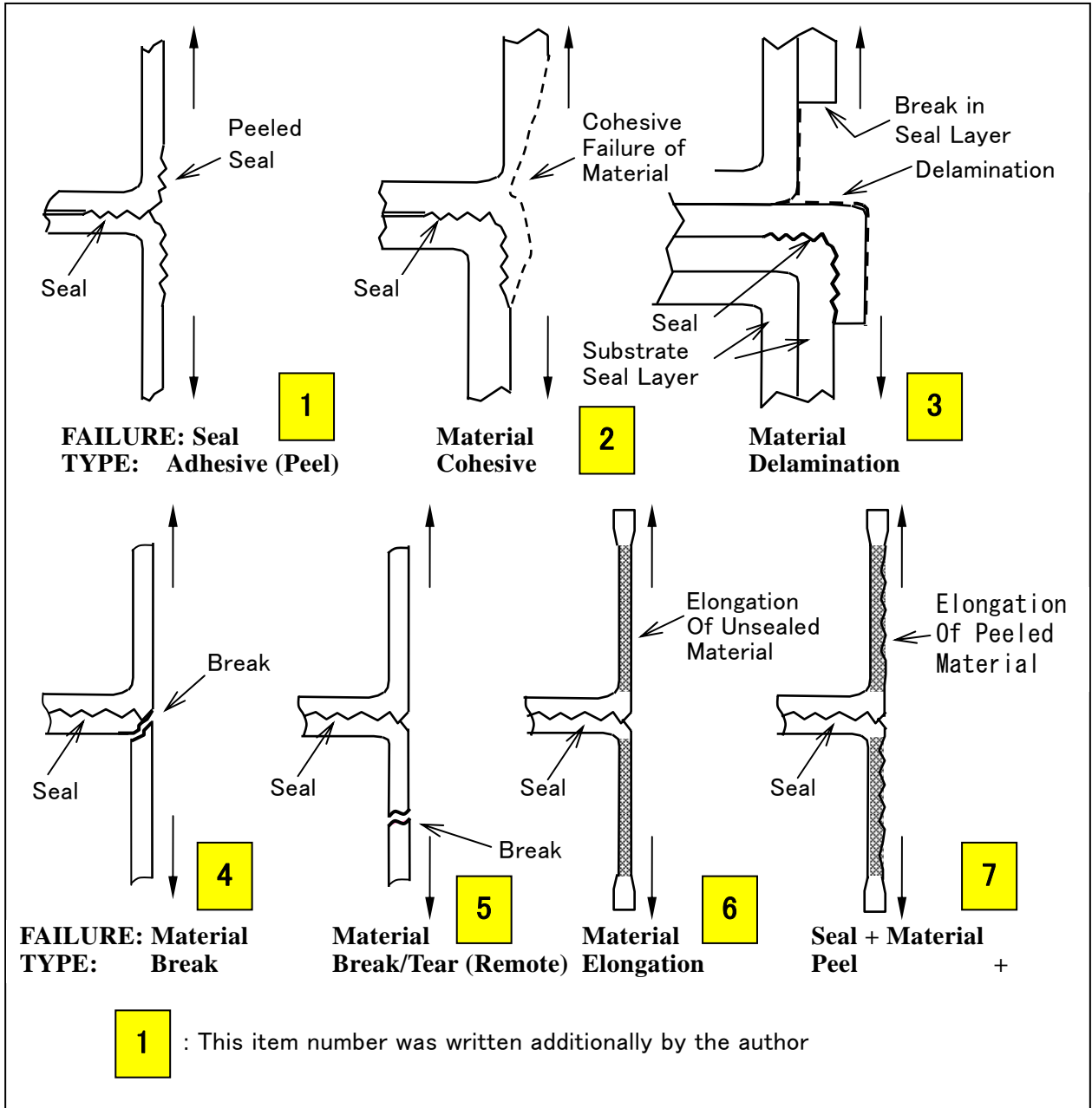


Figure14-4 «ASTM Designation: F 88-00» **FIG. 4** Test Strip Failure Modes

Table14-1 Analysis of failure example which ASTM by this study has presented

It refers to figures of 8-8 and figures of 8-9 of chapter 8

NO.	Failure	Type	Under Peel Seal condition	Under Tear Seal condition	Under Hot Tack condition	Remarks	
1	Seal	Adhesive (Peel)	⊙			$F_s > F_H$	No problem
2	Material	Cohesive		◆		$F_H > F_s$	Over heating
3	Material	Delamination		○		$F_H > F_s$, $F_s > F_L$	Easy peel
				◆		$F_H > F_s$	Over heating
4	Material	Breake		◆		$F_H > F_s$	Over heating
5	Material	Breake/Tear		○		$F_H > F_s$	The high rigidity material
6	Material	Elongation		○		$F_H > F_s$	The soft material
7	Seal +Material	Peel	○		●	$F_H > F_s$	The stress under un-cooling

⊙: Under controlled

◆, ●: Fail

F_H : Heat seal strength

F_s : Heat sealant strength

F_L : Lamination strength

1 4. 6 本研究の今後の展開

熱溶着（ヒートシール）加熱温度の最適化の研究の今後の展開を以下に示す。

- (1) 溶着面温度測定法の汎用化と提供（特許公開）を行い、誰にでも使いやすい技術に進展させる。
- (2) 関係分野における Peel seal の活用の提案、Peel seal ゾーンの広い包装材料の検討の理論的サポートを積極的推進する。
- (3) 学会活動、協会活動、業界活動、技術士グループの連携活動を通し国内外に啓蒙普及をして、本研究のグローバルスタンダード化を目指したい。
- (4) 本研究の適用で、目的にあった材料の容易な選択を実施できるようにして、歩留まりの改善、包装材料の廉価化の協業に寄与したい。
- (5) 廉価なレトルト包装材料（例えば、PP に co-polymer を共押し出しして、日本円で 1 円／袋以下）の開発を協業推進して、（世界的な）安全で無駄のない食糧供給の一助に寄与したい。
- (6) 生分解性プラスチックの適正なヒートシール法を積極的に提供して、生分解性プラスチックの協業普及を促進したい。
- (7) 本研究の Peel seal 技術を適用して、薄くても（30 μ m 以下）破れない熱溶着（ヒートシール）を特に開発途上国に普及して、経済力の影響の少ない平等な包装技法の世界的協業普及に寄与したい。

1 4. 7 参考文献

- 1) JIS Z 0238; 7 項, (1998)
- 2) ASTM Designation:F88-00
- 3) 菱沼一夫 ; 第 8 回日本包装学会年次大会予稿集、p. 16 6 月 1999 年
- 4) 菱沼一夫 ; 第 12 回日本包装学会年次大会予稿集、p. 84 6 月 2003 年
- 5) 菱沼一夫 ; 第 13 回日本包装学会年次大会予稿集、p. 90 6 月 2003 年
- 6) ミシガン州立大学包装学科 Dr. Hugh Lockhart 談

発表文献

1. 論文

- (1) 2002年6月 *Worldpak2002, Improving the Quality of the Life through Packaging Innovation*, p.962-971
Newly Technical Development for Reform of Heat Seal Management
- (2) 2005年3月 日本包装学会誌 Vol. 14, No. 2 p. 119-130
「ヒートシールの数量化管理の研究」
[第1報]: 溶着面温度測定法 [“MTMS”] の開発
- (3) 2005年5月 日本包装学会誌 Vol. 14, No. 3 p. 171-179
「ヒートシールの数量化管理の研究」
[第2報]: 包装材料毎の溶着温度の確定法の開発
- (4) 2005年7月 日本包装学会誌 Vol. 14, No. 4 p. 233-247
「ヒートシールの数量化管理の研究」
[第3報]: 溶着面温度測定法による従来の管理指標の検証
- (5) 2005年12月 日本包装学会誌 Vol. 14, No. 6 p. 401-409
ヒートシールの剥がれシールと破れシールの識別法の開発
- (6) 2006年2月 日本包装学会誌 Vol. 15, No. 1 p. 29-38
溶着層の厚さのヒートシール強さへの関与の定量的検証
- (7) 2006年4月 日本接着学会誌 Vol. 42, No. 4 p. 19-24
熱溶着 (ヒートシール) の溶着面における剥離エネルギーの計測と評価法の提案

(8) 2004年11月 *The Conference in PACK EXPO international 2004*,
Flexible Packaging Section; W2
Advanced Heat Seal Temperature measurement

(9) 2006年3月 日本包装学会誌 (投稿済み)
レトルト包装のヒートシールのHACCP保証方法の検討

(10) 2006年3月 日本包装学会誌 (投稿済み)
簡易剥離(イージーピール)制御の定量的評価法の検討

(11) 2006年3月 日本包装学会誌 (投稿済み)
ヒートシールの溶着面温度応答のシミュレーション法の検討

2. 参考論文 (特許)

(1) 「プラスチックの熱溶着温度の測定方法」

2002年6月21日 特許第3318866号

(2) 「プラスチックのヒートシール条件の決定方法」

2003年8月29日 特許第3465741号

(3) 「プラスチックのヒートシール条件の設定方法」

2001年6月 特願2001-225173

(4) 「ヒートシール条件のシミュレーション方法」

2003年6月 特願2003-201369

(5) 「ヒートシール剥れと破れの識別方法」

2003年6月 特願2003-201370

(6) 「ヒートシール巾の決定方法」

2003年6月 特願2003-201368

(7) 「ヒートシール試験装置」

平成10年11月18日 実用新案登録第3056172号

(9) Method of Setting Heat-Sealing Condition

Mar.6, 2001 U.S. Patent US 6,197,136 B1

(10) Method of Designing a Heat Seal Width

October 11, 2005 U.S. Patent US 6,952,956 B2

(12) 「ヒートシール方法」

2006年3月 特願 2006-70547

3. 学会発表及び執筆等

(1) 「ヒートシール条件の設定方法の革新」

日本包装学会第8回年次大会研究発表大会予稿集、p.16 (1999)

(2) 「溶着面温度測定法；“MTMS”によるヒートシール管理の評価の定量化の実際」

日本包装学会第9回年次大会研究発表大会予稿集、p.56 (2000)

(3) 「溶着面温度測定法；“MTMS”によるヒートシール管理の評価の定量化」

(第3報) ヒートシールの温度管理の適正性の検証

日本包装学会第10回年次大会研究発表大会予稿集、p.42 (2001)

(4) 「溶着面温度測定法；“MTMS”によるヒートシール管理の評価の定量化」

(第4報) レトルト包装のHACCP保証への適用展開

日本包装学会第11回年次大会研究発表大会予稿集、p.76 (2002)

(5) 「溶着面温度測定法；“MTMS”によるヒートシール管理の評価の定量化」

(第5報) ヒートシール操作のダイナミックス

日本包装学会第12回年次大会研究発表大会予稿集、p.82 (2003)

(6) 「溶着面温度測定法；“MTMS”によるヒートシール管理の評価の定量化」

(第6報) 「角度法」による実際的なヒートシール強さの適用

日本包装学会第12回年次大会研究発表大会予稿集、p.84 (2003)

(7) “剥離エネルギー”比較によるヒートシール条件の最適化の一考察

日本包装学会第12回年次大会研究発表大会予稿集、p.86 (2003)

(角田 光弘、房旨 信広、菱沼 一夫 共同発表)

- (8) 「溶着面温度測定法；“MTMS”によるヒートシール管理の評価の定量化」
（第7報）溶着面温度を指標にしたイージーピール制御の定量化
日本包装学会第13回年次大会研究発表大会予稿集、p.90（2004）
- (9) 「溶着面温度測定法；“MTMS”によるヒートシール管理の評価の定量化」
（第8報）溶着層の厚さとヒートシール強さの関係の定量的検証
日本包装学会第13回年次大会研究発表大会予稿集、p.92（2004）
- (10) 「溶着面温度測定法；“MTMS”によるヒートシール管理の評価の定量化」
（第9報）どうして従来法では破袋の発生を防御できないのか？
日本包装学会第14回年次大会研究発表大会予稿集、p.18（2005）
- (11) 「溶着面温度測定法；“MTMS”によるヒートシール管理の評価の定量化」
（第10報）溶着面温度測定法を適用したヒートシール検査／解析法
日本包装学会第14回年次大会研究発表大会予稿集、p.94（2005）
-
- (12) 「溶着面温度測定法；“MTMS”によるヒートシール温度管理の
適正性検証」 「食包研・会報」、No.92、p.9-15（2001）
- (13) 「レトルト包装における“MTMS”によるヒートシール管理」
ジャパンフードサイエンス、Vol.41, No.12 p.77-84（2002）
- (14) 「溶着面温度の直接測定ができるとヒートシール管理はどのように
変わるか？」 *Packpia*、「温故知新」01、Vol.46, No.11, p.46-52（2002）
- (15) 「溶着面温度測定法；“MTMS”によるレトルト包装のヒートシール検証」
Packpia、「温故知新」02、Vol.46, No.12, p.44-47（2002）
- (16) 「溶着面温度測定法の開発とヒートシール管理の定量化」
「包装技術」、第27回木下賞受賞論文、Vol.41, No.9 p.54-64,（2003）
- (17) 「包装容器・袋の適正シール条件とシール不良の解決方法」（共著）
包装のリスク対策と品質保証；サイエンスフォーラム、第2章、第4節、
p.90-105（2003）
- (18) レトルト食品包装のヒートシールの劣化対策
フードケミカル Vol.20, No.6 p.44-52（2004）

- (19) 「ヒートシール技術の実際と不具合対策」(共著)
コンバーティング技術とその不良対策；(株)技術情報協会、
第8章、p.179-200 (2004)
- (20) プラスチック包装材料の熱溶着(ヒートシール)方法の信頼性の改革
第34回信頼性・保全性シンポジウム発表報文集、p.77-82 (2004)

謝 辞

本論文の作成に当たり、国立大学法人東京大学大学院農学生命科学研究科生物材料科学専攻高分子材料学研究室 小野 拓邦教授には、研究の進め方、論理設定、展開の細部に涉り懇切丁寧なご指導、ご鞭撻を戴き、お陰様で本論文を大成することができた。

本論文のご審査を当たられた諸先生各位には細部に至るまで丁寧な指摘とご指導を戴き感謝申し上げます。 アドバイスを参考に「キーワードの説明」、「索引」を追加して読解の利便性を図った。

小山コンサルティング事務所所長小山 武夫氏には、プラスチックの基礎、熔融特性、高分子各論について懇切丁寧なご指導を戴き、プラスチック材料の熱溶着（ヒートシール）特性の基本的理解の支援して戴いている。

ミシガン州立大学の Bruce Harte 前学科長には、WorldPak2002 での筆者の発表にいち早く注目し、直ちに“MTMS”をミシガン州立大学包装学科の大学院の講座に導入して戴いている。 ヒートシールのご担当の Hugh Lockhart 教授には、ミシガン州立大学での数度の特別講義の機会を用意してくれると共にアメリカで提起されているヒートシールの課題の提示と共同研究の機会を作って戴いた。A. Auras Rafael 助教授は自らの論文に溶着面温度測定法を導入して展開して戴いた。 実際のアメリカ包装界のタイムリーな情報の提供を戴いている。

PMMI (アメリカ包装機械工業協会)の Ben Miyare 副会長には欧米の業界、学際における熱溶着（ヒートシール）の取り組み状況の情報を提供戴くと共に、関係者や関係大学の紹介を戴いた。2004年にはPACKEXPO International のカンファレンスに招待戴き、溶着面温度測定法の講演の機会を与えて戴いた。これはアメリカ業界への足掛かりとなっている。

日本包装学会の関係各位には長年に涉って、研究経過の発表の場の提供と激励を戴いた。

ヒートシールのクレームが頻発し始めた1980年前後の前職の時、「溶着面温度法」はまだ定性的な説明しかできなかった。当時、実生産工程で10年以上もの間、加熱温度と運

転速度を固定した運転（実験）を容認して戴き、本研究の礎の仕事を戴いた当時の味の素社の関係者のご高配に先ず感謝したい。

本格的な研究のもとになった国内外の関係各社さんから寄せられた多くの不具合事例、問い合わせ、原因究明は、本格的な研究の原動力になった。

第7章の剥離エネルギーの研究の実験には、味の素冷凍食品株式会社の角田光弘氏の協力戴いた

溶着面温度測定法との性能対比に使用したDSCデータの測定は兵庫県立工業技術センター 材料技術部（材料分析担当）石原 マリ氏の協力を戴いた。

技術士包装物流会、日本包装コンサルタント協会の仲間の皆さんには常日頃、適切な指導、鞭撻を戴きそして励まして戴いた。

本研究の実験に必要な各種の包装材料を多くのメーカーさんから快く提供戴いた。

（社）日本包装技術協会では毎年の研究会でヒートシールの講演の設定をし、本研究の業界への普及の機会を作って戴いている。そして第27回木下賞の授与は研究促進に大変な励みになった。

（社）日本包装機械工業会の毎年の包装学校の講義に溶着面温度測定法を講義項目にご採用戴いて、包装機械関係者への普及の機会を設けて戴いている。

各方面の友人達は、研究の成功に生涯的な叱咤激励を送り続けてくれている。

紙面を通して各位に感謝を申し上げる。

最後に、長年の研究活動の苦渋を共にし、励まし、健康を維持してくれた妻と家族の支援に感謝する。

以上

索 引

《英字》 《数字》			
15mm	125 142 153 232	Contact gap	29 37
15mm幅	56 100 102 116	Cooperation map	231
1次応答	83	Co-polymer	7 56 131 134 151
1次遅れ	42		172 233
1次遅れ回路	181	Cycle time	204
1次微分	43 50 54	Delamination	21 239 143 145 239
1次微分値	105	Differentiation	46 47 51
1段目の加熱	201	Discrimination validation	107
2次微分	43 54	Dispersion	212
2次微分値	105	Double step heating	202
2重	61	Drift	88
2重袋	65	DSC	41 43 56 172
2段	56	DUPONT	211
2段加熱	181 189	Dynamic of heating surface	75
2段加熱法	197 200	Easy peel	150 152
2面	189	<i>Ei</i>	184
3要素	61 102	Electric circuit simulation	182
4重	61	Electric field	10 26 112
4枚重ね	189 216	Element of sealing strength	99 132
4要素	61 162 197	Elongate	6 21
5mm幅	56 100 125	Elongation	21
6枚重ね	157 207	EPR	151
7mm	200	EvOH	218
A/D変換	31 120	Exfoliation	127
Achievement assignment	92	Experiment condition	135 154 234
Adhesive	21 152 239	Extraction of demand	163
Advantage region	6	F88-00	21 239
Analog indication	29	Failure mode	6 21 109 113 239
Analysis of failure	240	FDA	83 211
Angle method	103	Feed forward	164
ASTM	15 17 100 155 232	Fin	20 113 114 137
	238 239	Flexible packaging	113
Attainment time	12 63	Flow control	49
Banded peeing	158	Foam in lamination layer	72
Barrier	5	Fundamental response	180 198
BCD	31	Gap control	37
Best condition	215	Generation factor of pinhole	98
Big principle	63	HA	162
Biodegradable	221	HACCP	23 161 163 201
Bread packaging	154	HACCPの5品目	162
Break	21 239	Heat bar	10 26 112
Break down energy	118	Heat capacity	29 45
Calculation method	53	Heat character	53 55
Coextrusion	5	Heat conduction	29
CCP	162	Heat seal strength	224
Cofirmation element of heat sealing	12	Heat sealant	5 64 118 140 141
Cohesive	21 239		152
Composition Origin Analysis	163	Heat sealing sample	20
		Heat sealing technology	10 26 112

Heating block	26 29 112	Positive pressure	165
Heating flow	26 45 112	PP	4 151 172
Heating flow model	26 112	PP系	131
Heating jaw	29 44 45 204	PPのco-polymer	212
Heating press unit	32	Press time	235
Heating restriction	12 63	Pressure respnse	68
Hot air	10 26 112	Primary delay	46
Hot tack	238	Proper condition	202
Hot wire	10 26 112	Proper heating	6
Impuls	10 26 81 112	Reinforcement	137 141
Induction	10 26 85 112	Retort oven	165
Intermittent motion	204	Retort pouch	9 165
JIS	15 16 54 100 102	Rigid body	115
	128 136 153 168 218	Rigid容器	216
	220 232	S/N	50
Linear	188	Sampling point	236
L-LDPE	5 218	Seal layer	21 239
Material	21 239	Shema of fusing condition	118
Melting interface	118	Shrink	213
Melting surface	26 112	Simulation method	57
Melting surface temperature	6 12 26 29 44 45	Simulation circuit	44 74
	47 63 175 198 224	Single step heating	202
Melting temperature	12	Sp	117
Minute sensor	34 37	St	116
Minute wrinkle	64	Steam pressure	163
Moisture-proof	5	Step response	44
MTMS	23 24 61 151 232	Stress of fusing surface	115
MTMS kit	32 39	Surface temperature of jaw	80
MTMSキット	38 39 61 185	Tamper Evidence	84 149
NASA	161	Tear part	94
Noise compensation	52	Tear seal	7 8 9 10 21 27
Non-linear	190		61 83 104 111 153 172
NYL	218		200 218 232
Observation point	236 237	Tear sealing	7 9 101 106 113 224
Optimal condition	208	Teflon coat	77
Optimization execution	194	Temperture response	34
Optimum region	174	Tencile test method	122
Pattern of tencile	154	Tencile force	6
PE	4	Tencile stress	145
Peel enargy	118 124 127	Tencile test result	138
Peel seal	7 8 9 10 21 27	Tension pattern	123
	48 56 61 111 149 153	Tensile strength	7 106
	172 200 218 232	Thickness of heat sealant	140 141
Peel sealing	7 9 106 113 134 150	Tm	116
	152 224	transfer list	171
Peeling stress	97	Trapezoidal cut	235
PET	218	Tuck	97 126
PEの繊維	212	TYVEK	185 211 213
Pharmaceutical packaging	150	Ultra sonic	11 26 112
Pillow	37	Vc	184
Plastic	3 6	Volatile component	69
Poly ball	96	Welding layer	118
Polymer	4		
		液状化	27 36 41 67 93 166
《あ》			220
アイオノマー	151		

悪循環	108 114	液体	42
圧着	111	エチレン	131 157
圧着圧	27 36 48 61 67 90	エッジ切れ	9 41 54 56 111 116
	93 104 108 153 216		151 172 218
圧着開始	111	エネルギー変換	157
圧着ギャップ	36 153 232	円弧状	125 128
圧着時間	65 87 179 197	演算機能	31
圧着時間の決定方法	233	演算式	42
圧着代	36 153 216	演算処理	42
圧着調整	36	円線状	84
圧着動作中	65	《お》	
圧着ムラ	76	応答遅れ	48
圧着面	36	応答曲線	181 233
圧着ユニット	38	応答時間	179
圧力	10 24 61	応答シミュレーション	233
圧力差	164	応答性	33 36 48
アナログ	31 50	応答測定	79
アメリカ	15 83 211	応答測定点	181
アルミのちぎれ	218	応答速度	164
泡状	67	応答データ	58
アンカーコート材	2	応答の相違	216
《い》		応答範囲	189
イージーピール	8 24 149 207	応答変化	184
イージーピールシール	197	応力線	108
イオン化結合	2	応力値	104
悪戯防御	23 149 211	応力点	125
一体化	131	応力パターン	157
一体フィルム	133	応力面積	157
糸状	116	オーバーヒート	58 71 87 95 176
異物	4 114	オーバーラップ	173
医薬品包装	83	オフセット	73
医療品包装	114	温度	10 24 61
医療用滅菌包装材料	211	温度依存型	179
因果関係	93	温度応答	61 67 111
印加電圧	181	温度管理	95
印刷材	166	温度挙動	61 91
インターバル	87 209	温度傾斜	28 48 50 73 76
インダクションシール	25 26 61 83	温度降下	205
インナーシール	83	温度差	25 50 65 73 79
インパルスシール	25 26 61 79 125 212	温度上昇	164 179
《う》		温度上昇速度	164
受け台	87	温度制御	111
薄手	87 161 185	温度設計	91 164
運転条件の制限マップ	176	温度センサ	27 30
運転速度	23 114 157 201	温度測定機能	181
《え》		温度測定装置	50
液位	179	温度帯	133 153 164
液化	42	温度調節	27
易開封性	8	温度調節値	61
		温度分解能	36
		温度分布	25 27 61 111
温度変化	73	過渡現象論	181
温度変更	179	加熱	42 93 111
温度ムラ	76 91	加熱圧条件	153
温度目盛	54	加熱エネルギー	2 48 61

温度領域	67	加熱応答	87
温度レンジ	31	加熱遅れ	36
《か》		加熱温度	65 71 93 95 114 133
加圧環境	164		181 197 233
加圧高温加熱	164	加熱温度曲線	200
加圧制御	164	加熱温度情報	179
加圧ムラ	90	加熱温度の制御巾	151
介護用品	223	加熱温度の変更割合	181
解重合	8	加熱温度ムラ	90
開発途上国	241	加熱均一性	153
外部応力	95	加熱繰り返し速度	184
開放のタイミング	83	加熱源	24 42 43 184 207
界面接着	8 116 157	加熱原理	11 25 26 48
界面の発熱	111	加熱サンプル	232
界面剥離	71 93 155	加熱時間	58 83 197 201 207
界面剥離状態	153	加熱時間の決定方法	233
外乱	28	加熱時間のマトリックス	233
回路定数	181	加熱試験条件	153
過加熱	10 41 62 102 108 166	加熱終了	164
	197 211 238	加熱昇温速度	48
過加熱温度範囲	197	加熱条件	181
過加熱状態	232	加熱上限温度	58 73 200
過加熱制限温度	73	加熱ジョー	136
画一化	83	加熱初期温度	179
拡張	179	加熱ステーション	201
角度法	58 61 102 108 168 172	加熱性能	83
	200 218 233	加熱操作	149
格納機能	31	加熱装置	207
下限	207	加熱ゾーンの長さ	209
下限温度	199 201	加熱速度	73 164
下限値	205	加熱体	27 36 90 153 179 199
下限到達時間	209	加熱体温度	73
加工速度	207	加熱体周辺	79
加工ピッチ	207	加熱体の形状	76 79
荷重	116	加熱体表面	199
荷重試験	128 161	加熱停止	76
菓子類	223	加熱電流	79
ガス	211	加熱の高温化	108
ガス化	42 181	加熱のパラツキ	87
ガス体	71	加熱バー	233
ガスバリア	166	加熱不足	2 10 79 87 199
ガスバリア性	2 10	加熱部分	10
ガゼット	65	加熱プロセス	61
ガタ	76	加熱ブロック	111 184
片面加熱	25 61 87 111 184 212	加熱方法	12 111
カップ	87	加熱ムラ	76
稼働率	24	加熱流	111
過渡応答	27	加熱流制限	90
過渡現象	28	加熱量	79
加熱領域	105 116	近似積分	120
紙カップ	216	近似微分	50
カムアップ	164	金属イオン	139
貨物破損	161	金属シート	153
ガラス容器	83	金属テープ	207
絡み合い結合	139	金属箔	84

感圧反応系	61			金属箔の溶解	87
簡易解析	41			金属プレート	136
関係部門	211			金属片	153
間欠動作	73			金属容器	161
観察評価	24			《<<》	
含水紙	67			食い込み	93 116 131 139
間接的方法	23 24 27			空中中移動	205
缶詰技術	161			矩形状	84
完了領域	104			クッション性	71
《き》				グラフ	233
気化	41 71 172			グラフ化	31
機械設計	181			グリップ	18
機械動作	205			グローバルスタンダード	241
危害分析	162			クロメル／アルメル	30
規格	17			《け》	
危機管理	10			系外排出	67
基材の厚み	133			経験則	12 223
基材の伸び	136 155			傾斜値	43
基材部	27			携帯の利便性	161
基礎データ	54			結果要素	95
気体	42			血管	114
揮発温度	71 90			結合確率	139
揮発成分	61 67 90			結合力	157
規範	15			結晶構造間	131
基本機能	41 61			結晶性	151
基本熱伝達能力	207			結晶性プラスチック	3 25 56
気密法	211			原因究明	108 211
キャップ	84			原因設定	218
ギャップ調節	200			原因要素	95
吸収	48			検出温度	42
吸熱	43			検証条件	207
共押し出し	133 151			現象要素	95
境界温度	105			検知法	42
境界温度	125 136			現場への適用性	207
境界付近	232			《こ》	
共重合	2			高圧着化	108
強制循環	164			高温域	105 181
挙動	61			高温化	199
挙動	90			高温加熱	87
挙動解析	56			高温側	87 187
許容範囲	79			高温処理	162
切り換え操作	181			恒温装置	179
気流	27			高温耐性	2
均一	153			高温領域	179
均一化	71 161			高感度	50
均一加熱装置	91			香気成分	223
均一の発熱	83			高気密性	218
工業的な操作	151			最速加熱条件	73
高信頼	161			最大値	116 133 153 185 233
高信頼化	177			最大値群	155
高信頼性	197			最大引張値	100
剛性	8 116 146 207			最適化条件	93 111 131
構成仕様	166			最適加熱	189 197
合成引張強さ	155			最適加熱温度	90
構造物	28			最適加熱温度	155

拘束温度	67
高速化	153
高速系	28 30
高速性	27 30 201
高速生産性	197
高速測定	50
高速の圧着	199
高速領域	50
工程管理	93
交点温度	193
交番磁界	84
降伏点	121
高分子	56 116 131
高分子結合の欠陥	220
高分子鎖	116
効用性	73
コーティング	151
コートフィルム	212
コーナー部	234
固化	42
焦げ付き	71 199
コスト	10 24
固体	42
固有特性	199
固有熱特性	168
小分け包装	1
壊れ状態	19 20
壊れパターン	238
混合状態	93 116
混合量	56
混入事件	211
混入防御	1
《さ》	
サーミスタ	30
サイクルタイム	189 199 201
再現性	36 232
最高加熱温度	58
材質の構成	218
最終加熱温度	181
最終強さ	105
最小値	133 153 185 233
最小値群	155
細線状	125
最速加熱時間	58
自己制御	36 128
仕事量	121
市場観察	149
指数関数的	185
事前確認	24
事前検証	181
自然原料	220
自然循環型資源	220
事前評価	162
磁束の収束	84

最適加熱温度帯	201
最適加熱範囲	12 179
最適加熱方法	200
最適な組み合わせ	157
再封緘	149
再封止	207
材料構成	25 168
材料内部	111
材料の構成	120
材料の耐力	102
作製時間	232
作動空気圧	67
差分	50 187
酸化	116
三角形状	102 142
酸化防御	161
酸素遮断	116
残存スポット	157
サンプリング箇所	234
サンプリング間隔	50
サンプル作成方法	136
サンプリング	18
《し》	
シート	1
シール材	87
シール条件	27
シール保証	24
磁界	84
紫外線バリア	166
磁界ゾーン	84
時間	9 24 61
時間経過	25
時間軸	54
時間精度	28
時間線	205
時間の関数	179
時間分解能	36
識別	41 93
識別能力	50
試験装置	179
試験片	179 232
試験法	232
試験方法	17
試行錯誤	10
事後検査	23 161
蒸気圧	164
蒸気圧温度	67
衝撃	95 116
上限	207
上限温度	105 168 201
条件解析	59
条件検証	91
照射時間	84
上昇温度	83
上昇線	83

磁束密度	84	承認制度	161
室温状態	153	承認対象	162
実験材料	133	消費者	207
実測応答データ	189	消費者ニーズ	149
ジッパーシステム	149	消費ロス	24
支配的要素	102	少量包装	1
市販材料	133	ジョー間	102
島状	155 157	ジョー間の距離	136
縞模様	157	初期圧着圧	232
シミュレーション	28 65 73 83 179 181	初期温度	111 181
	187	初期間隔	120
シミュレーション応答	205	初期伸び力	144
シムテープ	153	初期引張応力	142
示差走査熱量計	41 43 172	初期プレス圧	136
遮光性	161	食パン包装	149 207
受圧応力	128	食品衛生法	161
受圧応力線	128	食品包装	83
受圧面積	67	食糧供給	241
周囲温度	27	所定時間	136
重合度	4	除水	164
集中	58	処理ソフト	31
集中応力	102	シリコンゴム	87
集中応力値	104	磁力線照射	84
充填口	164	しわ	67
充填物	71 164	真空接着	139
充填物	200	信号処理系	31
充填物の熱劣化	164	診断事項	177
柔軟性	166	診断対象	87
周波数特性	38	振動	95
周辺空気流	79	浸透酸素	8
重要管理点監視	162	信頼性	61 111 161 176 197
従来法	61 102 139 211	信頼性の両立	201
ジュール熱	79 84	信頼性保証	10 12 24 83 110 161
受応力材	166	《す》	
樹脂塊状物	223	水蒸気	211
主制御要素	61	推奨範囲	176
出力調節	23	推奨溶着面温度範囲	166
シュリンク	108 211	数式的な証明	184
常圧	164	スタンドパウチ	61 189
常温付近	179	ステップ応答	42 54 73 185
上下限温度	233	ステップ状	185
上下限温度値	189	スナック食品	216
使用環境温度	181	スペーサー	136
スポット	157	線形応答	185
スレッシュホールドレベル	50	センサ	232
《せ》		線状高分子	139
製袋	1	全剥離長さ	120
制御向上	142	《そ》	
制御性能	24	層間内	71
制御要素	23 61 95	層間剥離	151
成型	1	総合衛生管理製造過程	161
制限温度	176 201	総合応力	157
制限温度条件	65	相互干渉系	28
生産休止	24 27	相互互換性	10
生産現場	201	操作熱エネルギー	84

生産工程	199	操作の標準化	87
生産性	114 164 189 197 199	掃除	199
生産装置	201	掃除性	71
生産速度	201 209	相似電気回路	184
製造工程	116 133	相乗効果	84
静的熱特性	173	層間剥離	24
性能改善	218	阻害要因	91
生分解性プラスチック	56 211 220 241	測定データ	31 179
精密機械部品	116	測定幅	56
精密測定	220	測定方法	232
制約条件	201	速度設定	181
世界的	15	《た》	
積算力	157	耐圧縮強度	161
積分型	43	耐圧縮強さ	17
積分範囲	117	耐応力基材	4
積分範囲	120	台形に裁断	233
石油原料	220	対象温度	176
セキュリティ	83 211	対症療法的	71
接近確率	133	耐熱	90
設計コンセプト	56	耐熱性	161
設計段階	181	タイマー	79
接触界面	111	大量の熱源	164
接触面	48 61 73 93	多重シール	207
切断幅	100	多層フィルム	24
接着	2	立ち上がり	56
接着界面	93	立ち上がり波形	233
接着界面	116	タック	95 102 125 142 207
接着強度	4	達成基準	162
接着剤	172	達成方法	162
接着スポット	157	脱落スポット	157
接着層	2 90	縦ピロー	61
接着不良	108	ダブルヒートシール部	234
接着面	61	多様化	149
設定温度の上乗せ	199	単一素材	111
設定加熱温度	164	単一フィルム	4 27 79 151
設定時間	83	段差	216
設定変更	87	短冊状	104 151
全圧着	36	短時間	79
繊維状	71	タンパーエビデンス	149
線形	185	《ち》	
線形1次回路	42	注射薬包装	149
超音波	111	適正加熱条件	58
超音波加熱	24 25	適正加熱範囲	10 25 61 87 189
長期品質保証	223		197 200 205 207 212
調節温度	157	適正加熱範囲	238
調節目標値	166	適正最高運転速度	166
超低速	157	適正シール操作	211
直鎖状	4	適正条件	201
直接接触	48	適正上限加熱温度	233
直接接触加熱	73 111	適正設定	181
直接測定	24 28 30	適正範囲	173 212
直接測定技法	61	適正溶着面温度	179
直線性	233	適正領域	173
直線的	54	適否判断	161
直線部	234	適用事例	211

直流増幅器	30	適用範囲	133
直角	95 142	デジタルフィルタ	50
直角応力	18	デジタル分解能	36 50
直角方向	76	デジタル変換	50
《つ》			
通過時間	84 199	テフロン	42 48 50 61 73 83
通気性	211		90 153
通常運転状態	90	テフロンカバー	199 201 220
通常のシール性	149	テフロンコート	233
通電時間	79 83	手間	23
通電電流	83	デラミ	144
包む	223	デラミ強さ	139
《て》			
デ・ラミネーション	71 104	デラミ剥離	104
低温域	133	電圧データ	181
低温化	199	電圧変換素子	30
低温側	73 187	電界シール	25 26
抵抗線	79	電気出力	24
定常状態	73 90	電気抵抗	181
ディスパージョン	50	電気容量	181
定性的	41 223	電磁加熱	24
低接着	157	電子記録	153
低速	153	電磁波	111
低密度ポリエチレン	4	電子部品包装	218
定量化測定	43	点状	125
定量化評価	162	伝送	31
定量管理	24	伝達遅れ	48 187
データ処理	50	伝達時間	197
データ全域	187	伝熱加熱	111
データ蓄積	31	伝熱ギャップ	65
データの使用範囲	185	伝熱特性	91
データの情報化	31	電流	181
データ保存	31	電流値	83
適正加圧	67	《と》	
適正加熱	73 87	トイレタリー品	223
適正加熱温度	41 61 197 207	等価回路	28
適正加熱温度帯	212	透過熱流	43
適正加熱温度範囲	205	透過熱量	42
適正加熱時間巾	201	統合グラフ	105
		統合データ	168
		同時測定	58
到達温度	65	熱反応	43 164
到達時間	205 232	熱板方式	211
動的解析	181	熱溶着部位	159
動的条件	173	熱風加熱	25 26
《な》			
内圧発生	162	熱変形	93
内層材	142	熱変性	4 41 42 54 56 65
内容物の流動	95		172
ナイロン	71	熱変性限界温度	90
雪崩的	159	熱変性点	168
波状	95 100 102	熱変性点温度	220
軟化	4 7 36 41 93 95	熱放射	79
	116 131 153 157 164 181	熱溶着面	164
軟化状態	131	熱溶着状態	144
軟包装袋	17	熱溶着特性	211
《に》			
		熱容量	43 79 83 111 164 179
			181

二次的要素	61	熱容量値	181
乳製品	216	熱流	25 42 73 181
入力端子	84	熱流制御	48 54 73
《ぬ》		熱流調節	42 73
抜き取り検査	161	熱流の減少化	73
布目仕上げ	71	熱流量	87
《ね》		熱劣化	12 24 61 73 76 114
熱溶着	1 10 24 93 111 114	熱劣化	149 193 200
	125	粘着テープ	136
熱移動現象	181	粘着面	142
熱エネルギー	83	粘着力	142
熱応答	42 155	《の》	
熱応答の定数	181	ノイズ	50
熱可塑性	2 93 111 232	ノイズフィルタ	50
熱溶着機能	179	伸び応力	100
熱供給	73	伸び特性	233
熱供給能力	48 164	伸び力	142
熱挙動	42 179	《は》	
熱傾斜	48 73	パーマネントシール	211
熱源	179	パイプ	181
熱現象	18	パウチ	10 125 176
熱処理前	142	パウチ外圧	164
熱接触抵抗	199	パウチ内	164
熱溶着層	111	パウチ内圧	164
熱損傷	197	破壊応力	8 95
熱チャージ	83	剥がし易さ	207
熱抵抗	48 73	剥がれ	8 27 48 93
熱伝達	25	剥がれ強さ	117
熱溶着伝達系	179	剥がれ巾	125
熱伝達能力	179	剥がれ面積	125
熱電対	30 50 87	剥がれ力	100
熱伝導	36 42 61 67 201	剥離	23
熱伝導値	181	剥離エネルギー	111 114 116 117 125 146
熱伝導能力	73 181		176
熱特性	41 48 105 172	剥離応力パターン	157
熱特性測定法	87	剥離開始点	121
熱溶着の機能	149 161	剥離状態	71
剥離中	157	半剛性容器	17
剥離強さ	139	反応性	149
剥離の進行	128	半溶解	116
剥離のメカニズム	142	汎用性	211
剥離部位	157	半熔融	131
剥離片	151	引張強さ	7 100 102 105 232
剥離面	151 157	引張試験	1 27 114 125 153
挟み込み	4	《ひ》	
破袋	2 93 95 108 172	引張試験	218
破袋応力	166	ピーク値	56
破袋防御	128 146	ヒータ	79 83
破断	157	ヒートシーラント	3 5 8 25 36 41
破断エネルギー	114 116 125		93 111 136 149 166 197
破断現象	116		218
破断試験	1	ヒートシーラントの厚さ	131
破断強さ	8 117	ヒートシール	1 24 25 41 56 61
破断的	157		93 111 161
破断点	114	ヒートシールエッジ	233

破断力	146	ヒートシール基準	212
発現温度	139	ヒートシール技法	24
発現機能	149	ヒートシールクレーム	211
発現距離	133	ヒートシール条件	65
発現条件	146	ヒートシール線	95 142 155
発現推定モデル	133	ヒートシールトラブル	93
発現測定法	151	ヒートシール長さ	207
発現パターン	139	ヒートシールの機能	149 179
発現物質	151	ヒートシール方法	111
発現防御	102	ヒートシール面	84 114 207
発現メカニズム	207	ヒートシール強さ	3 7 17 27 54 90
発現要素	95 184		95 131 131 166 212
発生応力	144 157	ヒートシール強さ試験	161
発生経路	87	ヒートジョー	24 65 84 111
発生源	41	ヒートバー	25 26
発生メカニズム	157	ヒートパイプ	79
発熱	43 157	ピールシール	157
発熱温度ムラ	102	ピール制御	151
発熱系	184	引張応力	100 116 142 157
発熱体	61 84 111 199	引張応力線	157
発熱体の摺動	207	引張応力点	233
発熱特性	91	引張応力パターン	153
発熱部	79	引張開始	104
発熱部位	184	非加熱	93
発熱ブロック	111	非加熱側	25 87
発熱容量	184	被加熱材	73 179
発泡体	71	被加熱サンプル	48
ばね定数	157	被加熱体	61 111
破片	114	被加熱物	207
パラメータ	18 48 54 61 93 133	非加熱部分	10
	155 199 232	被加熱面	27
バリア性	218	引張試験機	120
バリア層	218	引き裂き	23 41 61
パルス巾	79	引き裂き応力	95 131 164 238
破裂強さ	17	引張距離	104
		比例換算	234
引張距離	120 153 157	比例計算	187
非結晶性	185	比例定数	185
微細センサ	24 31 33 42 84	ピロー	36 136
微細点	79	品質規格設定	91
微細部位	12 19 84 102	ピンホール	2 4 10 41 56 95
微細部分	232		102 108 172 211 218 220
微細粒子	212	《ふ》	
引張試験サンプル	232	不安定要素	76
微小圧着圧	67	フィルター回路	87
美粧性	71	フィルム	1
微小部位	116	フィン	20 114 125 142 200
微生物汚染耐性	200	封緘	1
微生物の侵入	10	負荷中	157
微生物防御機能	211	不均一	116 157
引張線	157	不均一加圧	95
非線形	181	不均一加熱	95
非線形応答	187	複合応答	33 207
引張試験速度	233	複合起因	91 95
引張速度	157	複合起因解析	95 162
引張力	142		

引張応力	102	複合結果	142
引張試験	54	複合材	104
引張速度	104	複合フィルム	42 50
引張値	121	輻射熱	184
非適正範囲	212	膨潤	164
人手評価	24 27	不純物	220
引張強さの合成	155	不織布	211
引張強さの変動	157	不揃い	157
引張パターン	133	蓋材	87
引張強さパターン	153	蓋材の歪	216
非反応系	139 149	付着	71
微分型	43	不都合の原因	207
微分値	54	物流	116
引張試験片の作製方法	234	物流中の衝撃	207
引張試験方法	233	不具合点	61
評価方法	15 100 111	歩留まり	199 241
表層	25 27 48 111 153 189	不具合な温度領域	220
表層温度	176	部分破断	116 144
表層材	4 41 58 142 166 176	プラスチック	1 5 24 41 71 93
表層材	185 185 218		161 185
表層包装材料	90	プラスチックの種類	3
表層部	48	ブラックボックス	181
表層面応答	168	不具合領域	65
平等活用	12	プレスギャップ	136
平等な包装技法	241	プレス代	136
表面温度	28 48 65 83 173 176	不連続	157
	201 232	不連続現象	181
表面温度計	65	不連続点	43
表面温度分布	90	ブレンド割合	133
表面材	197	ブロック共重合	111 120
表面仕上げ	76	プロット	133 155
表面仕上げの平滑化	199	分解能	30
微量混入物	149	分解能	153 157
分子間	93	ポリエチレン	211
分子間摩擦	93 139	ポリ玉	90 93 100 108 200
分子結合	2	ポリ玉	233
分子構造	181	ポリプロピレン	131
分子レベル	23 159	《ま》	
分担応力	157	マージン	76 146
噴霧	212	摩擦接着	116 131
《へ》		マトリックス	65 200 212
平均値化補正	50	ミクロの凹凸	36
平行性	76	ミンガン州立大学	87 211
平面状	125	未重合成分	172
ベースフィルム	212	未重合物	8 67
ベルトシーラー	207	密封	207
変曲点	42 48 50 54 172 187	密封性	1 7
	220 233	無菌化包装技法	161
変曲点温度	187	無人運転	199
変換感度	30	無接触	84
変換距離	121	メタロセン触媒	8 133
変態現象	42	滅菌加熱	161
変動	28	滅菌操作	211
変動パターン	155	滅菌中	164
変動要素	28	面加熱	84

《ほ》

棒グラフ	54
防湿	223
防錆	223
放熱	28 184
放熱	205
放熱ムラ	79
ポーションパック	1
補完エネルギー	43
補完加熱	43
包装機械	201
包装技法	149
包装材料	5 114 120 131 151 166
	184
包装材料の厚さ	199
包装材料の基本性能	155
包装材料の変性	161
補給熱量	90
補強材	136
補強材の剥離力	142
補強作用	144
補強処理データ	139
母材の引張強さ	155
保持構造物	79
包装市場規模	1
包装仕様	207
保証条件	161
包装商品	149 211
包装製品	116
ホットタック	200 238
ボトル材	87
溶着温度	12 71 168
溶着開始ゾーン	177
溶着界面	111
溶着現象	220
溶着条件	41
溶着状態	10 67 93 111
溶着性の発現	157
溶着線	8
溶着の立ち上がり	151
溶着の未完成	159
溶着発現ゾーン	168
溶着巾	117
溶着不良	87
溶着面温度応答	105
容認マネージメント	199
溶融	4 41 133 153
溶融移動	36
溶融温度	23 24 36 41 43 48
	62 67 83 93 179 197
溶融開始	172
溶融化温度	93
溶融完了	172
溶融結合	139
溶融状態	56 93

《や》

破れ	8 27 93 102 207
破れシール	102 108
破れの発生	108
破れの発生点	104 121
破れ力	100
山谷の発生	157

《ゆ》

優位性	195
有害微生物	211
有害物質	223
有害物の発生防御	161
融着面	238
融着	93
融着状態	105
融点	116
誘導信号	87
誘導電流	87
有用性	76

《よ》

溶着層	4 12 24 36 41 62
溶着面	111 2 4 12 65
溶着面温度	2 8 12 58 93 95
	184 189 205 232
溶着面温度測定法	23 24 31 41 61 104
	120 151 181
溶着面温度応答	173 179 212
溶解	36 181
容器	1 6 179
容器の断面積	181
溶出	65

《る》

《れ》

冷却	4 42 83 111 136 153
	164
冷却応答	83
冷却条件	216
冷却操作	164
冷却速度	164
冷却プレス	153 197 238
励磁源	84
励磁コイル	84
励磁時間	84
励磁周波数	87
励磁条件	84
励磁装置	84
励磁ゾーン	84
冷水	164
劣化温度	58
レトルト	1 9
レトルト温度	166
レトルト温度帯	164
レトルト釜	162
レトルト釜内圧	164
レトルトパウチ	5 54 71 104 146 161

溶融接着	8 146 155		
溶融接着状態	153		
溶融層	67		
溶融特性	56 87		
横縞	157		
予測制御	164		
予備加熱試験	153		
《ら》			
ラジカル重合	4 116		
落下強さ	17		
ラボ試験	162		
ラボベース	179		
ラミネーション	2 4 5 27 71 93		
	108 133 136 151 172		
ラミネーション材	142		
ラミネーション強さ	133 142		
《り》			
リアルタイム	25		
リード線	79		
リシール	149		
リスクマネジメント	200		
離脱	79		
利便性	149		
流動	67 90 93		
流動化	95		
良品効率	199		
両面加熱	25 61		
両面加熱	111 184		
両面加熱体	209		
			189 200
		レトルト包装	161
		レトルト包装の3要素	176
		レトルト滅菌	164
		廉価化	128 241
		連続運転	87
		連続性極細長繊維	211
		《ろ》	
		漏えい試験	17
		ロット	42
		《わ》	

— 著者略歴 —

- 1964年3月 中央大学理工学部電気工学科卒業
1959年4月 味の素株式会社中央研究所入社（計測と制御の研究部に所属）
1994年7月 味の素株式会社主席研究員（包装エンジニアリング担当）
1996年4月 味の素株式会社 退社
1996年5月 菱沼技術士事務所設立（経営工学コンサルティング）
現在に至る
2006年5月 博士（農学）（東京大学）授与

東京大学審査学位論文：[No.16508]
「熱溶着（ヒートシール）の加熱方法の最適化」
Optimization of Heating Method for the Heat Sealing

2006年5月01日

著者・発行者 菱沼 一夫

〒212-0054 川崎市幸区小倉 1232

Tel. 044-588-7533

Fax 044-599-8085

E-mail: rxp10620@nifty.com

URL: <http://www.e-hishi.com>

ヒートシールの理論的解析と改善のツール

“MTMS”キット [M04-06] 登場!

確実なヒートシール管理を達成するためには「溶着面温度」のダイナミクスを掌握する必要があります。溶着面温度測定法; “MTMS” は微細なセンサを溶着面に挿入して溶着面温度を直接測定する革新的技術です。

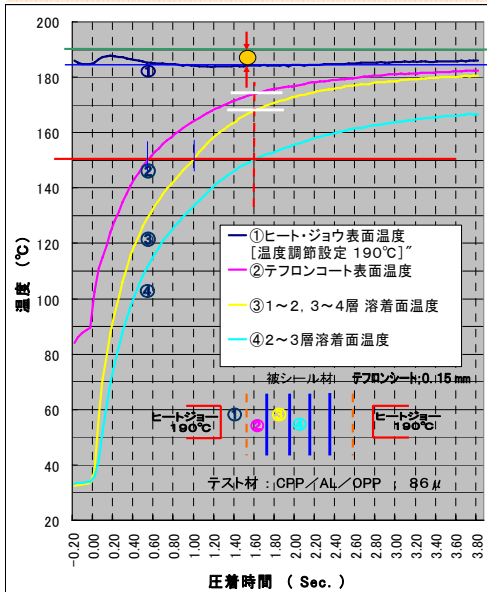
包装材料のヒートシール特性を正確に掌握するためには0.2~0.5℃の精度で溶着面に“流動”を起こさない優しい加熱が必要です。

“MTMS”キットは「溶着面温度測定法: “MTMS”」を容易に実施できる測定装置です。

“MTMS”キットの活用で定量的ヒートシールの管理、解析、研究、改善ができます。

◆ “MTMS” 主な機能 :

- (1) 溶着面温度の直接測定 (応答)
- (2) 包装材料の熔融温度検出
- (3) 加熱温度ムラ測定
- (4) Peel Seal と Tear Seal の識別
- (5) 剥離エネルギー測定 / ヒートシール中の理論的決定
- (6) ヒートシールの HACCP 保証
- (7) あらゆる加熱温度の応答シミュレーション / 2段加熱の検証
- (8) 包装材料の合理的設計
- (9) ヒートシール“不具合”の理論的解析



【“MTMS”キットによる4点同時測定例】

◆ “MTMS”キットの主な仕様 表面温度計の写真無し

- (1) 加熱温度精度; $1.5 \pm 0.2^\circ\text{C}$ Max. 220°C
- (2) ヒートジョーの加熱; 両面 (同一、温度差) 片面加熱の切り換え 選択自由
- (3) 加熱温度の均一化; ヒートパイプ埋め込み
- (4) 温度応答分解能; $2/100 \sim 2/1000$ (Sec.)
- (5) 溶着面温度センサ; “K”熱電対 $15 \sim 45 \mu\text{m}$ を選択使用
- (6) 同時測定点数; Max. 8点
- (7) 温度分解能; 0.1°C
- (8) 初期圧着圧; $\approx 0 \sim 0.5\text{MPa} \sim 1.0\text{MPa}$ (オプション)
- (9) 圧着; 手動 (10) 圧着開始時点; 自動検出
- (11) 圧着ギャップ調節; 最小 $10 \mu\text{m}$

◆ キットの構成

- (1) 加熱プレスユニット
- (2) 冷却プレス
- (3) 高感度 / 高速デジタルロガー
- (4) 温度調節ユニット
- (5) 表面温度表示計
- (6) 入力回路ユニット
- (7) データ通信ソフト
- (8) パソコン
- (8) 測定ノウハウ
- (9) データ解析ノウハウ
- (10) 習熟コンサルティング

開発 / 供給 : 菱沼技術士事務所

MTMS ; 登録商標, アメリカ / 日本特許取得・出願 (多数)

E-mail: rxp10620@nifty.com URL: <http://www.e-hishi.com>

Tel. 044-588-7533, Fax 044-599-8085 〒212-0054 川崎市幸区小倉 1232