

## 包装アーカイブス

# クレーム対応に始まったヒートシール技法改革の30 有年のアーカイブ

## 1. はじめに

ヒートシール技術はプラスチックの熱可塑性を利用して加熱/冷却によって容易に所望の接着ができる特長がある。ヒートシール技法はセロファン、ポリエチレンが包装材料への利用が始まった **1950 年代**に遡り、既に半世紀以上も主要な包装技術として全世界で利用されている。当初、ヒートシールは機械的な接着でよかったが、今日のヒートシール技術への期待はレトルト包装に代表されるように、従来の缶詰や瓶詰包装に勝る密封性と開封性の保証が求められるような新規な機能が求められている。

ヒートシール技術は①高分子材料の熱接着の機能性の利用;高分子の熱接着技法、②合理的な加熱の計測と制御による熱接着操作のヒートシール技法に大別できる。

本稿は筆者が計測工学者としてヒートシール技法の合理化と高機能化に携わった 1970 年後半～今日の 30 有年のアーカイブを紹介する。

## 2. ヒートシール技法との出会い

筆者は **1976 年**に味の素(株)中央研究所の

計測・制御部門から工場の制御系設備のメンテナンス部門に異動になった。この担当設備の中に調味料の自動包装ラインが多数あった。この時期、日本でもポーションパックの時代が訪れ、加工食品の原材料の供給企業は付加価値の高い最終製品を自ら製造するようになった。販売単位が数十 kg から数十 g に微小化することにより、品質管理の対象個数が桁違いに多くなり、マクロな品質管理では個人単位の顧客の満足要求を達成できないことから頻繁にクレームが多発した。この主要なクレームは包装量目の不足(計量法違反)と**ヒートシール不良**であった。特にシールクレームは中身の変敗等につながり、企業にとっては商品生命を失うばかりでなく、企業の社会的責任を問われるものであった。味の素社は全国版の商品を販売していたから生産量も多く、クレームは週単位の品質会議の課題として挙がっていた。計量は筆者の専門分野であったので自ら対応したが、ヒートシールは包装の専門部門の協力を仰いだが適格な解析や評価が見出せなかった。筆者にシール不良の改善プロジェクトのリーダーの指名があり、包装分野に足を踏み入れることになった。**1978 年、1980 年**に相次いで inter pack, PACK EXPO の海外視察を行い欧米のヒートシール技法の調査を行ったが、国内で得られる情報を超えるものは得られなかった。

**2000 年の初頭**、“MTMS”(溶着面温度測定法; Measurement Method for Temperature of

## 包装アーカイブス

Melting Surface ) のアメリカ特許出願でアメリカの特許庁は **1980 年前後** に PP に co-polymer や Na, K の無機物質の配合によるヒートシールの界面接着領域の拡大方法の DuPont 社の特許に「接着層内の温度が検出できればこの発明の必要ない」との記載の指摘があり、欧米でも確かなヒートシール技法の管理法がなかったことが分かった。時を同じくして、筆者のヒートシール技法の合理性の追求が始まっていた。

### 3. ヒートシール技法の“不具合”解析の取り組み開始

**1980 年前後**、ヒートシールのクレームの解析のために、まず従来のヒートシール技法の管理方法を調べて見たが、確かな文献はヒートシールしたサンプルの引張試験法の《JIS Z 0238》(ASTM F88;**1968 年制定**の準拠)を見出した。しかし、これは加熱処理したものや製品の既加熱品の接着強さを計測する方法であり、加熱方法等には一切触れていない。諸関係者への問い合わせ等で「温度」、「時間」、「圧力」の3要素がヒートシール技法の制御指標の“常識”となっていることが分かった。計測工学者の立場から見ると「温度」、「時間」の定義が曖昧で興味の対象になった。関係者にいろいろと問い合わせをしてみたり、現場の管理方法を調べてみると加熱体の調節温度が「温度」、自動機械の熱板の圧着動作時間を「時間」として扱われていることが分かった。当時

は運転速さが決まると圧着時間が自動的に決まるので、引張強さの仕上がり調節は加熱体温度の調整で行っていた。より強い仕上がり“良”とされていたので、エッジ切れ状態(凝集接着)に仕上げるようになっていた。「圧着圧」が制御要素になっていたのは、圧着圧によって熔融したシーラントがシールエッジにはみ出し(ポリ玉の生成)によって、シールエッジは機械的に強化され大きな引張強さ(材料の破断強さを上回る)を呈していた。(後にポリ玉がピンホールの発生に大きく係っていることが分かっている)「温度」、「時間」、「圧力」の3要素はこれらの現象から強いヒートシールの要求に対する操作要素になっていた。すなわち運転速度から決まる(圧着時間=加熱時間)がヒートシール操作の主制御要素になっていた。**1970 年後半**、誰が編み出したか不明だが、包装工程内のヒートシールの是非判定は、ライン中の包装品をピックアップし、ヒートシール面付近を装置等の平面で叩いて(遠心力で中身をヒートシール線の内側に激突させて)ヒートシール線がきちんと直線状になっているかどうかを調べていた。この方法によれば不透明な袋でもシール線が見えるようになる。筆者自身も当時(**1980 年頃**)はこの方法によって、加熱と圧着の均一性の“適正性”確認していた。(もちろんこの方法はピンホール発生の原因になるので不適格である) 3年程前 (**2009 年**)、系列のタイの工場を視察に行ったときタイ人のオペレータが同

## 包装アーカイブス

様な方法でヒートシールの出来栄えを検査していた。30年前(1980年代)の悪しき“伝統”が生き続いていたのにびっくりした。当時(1980年頃)、ヒートシールの合理的なメカニズム解析方法は殆どなく、ヒートシール面への玉噛み(夾雑シール)もヒートシール技術の課題となっていた。筆者は咬み込とシールの不良は別要因の問題であると考え、液跳ね、発泡、粉立ち、飛散でシール面への充填物の付着の防御が有効な手段であると考えた。「粉舞制御」、「液だれ制御」(第14回木下賞授賞；1990年；実用化の数年後)の開発適用によって、ヒートシール面の充填物の付着のシール不良を抜本的に改善した。

又、確実な加熱操作と被加熱物を確実に定位置に掴むことによってヒートシールの成功信頼性が非常に高くなることを見出し、ヒートバーに小さな貫通孔をあけて、廉価になってきた光センサでパウチの先端を検知したり(図1参照)(今日、既に多くのユーザーに普及している)、ヒートバーの表面温度応答を微細センサで検出して、標準パターンとのリアルタイムで計測比較する異常検知によって、ヒートシールクレームの極小化を図った。この検知は設備の異常検知の機能も兼ね備えていたので包装機の予備保全にもなり、生産稼働率改善の効果もあった。既にこれらの特許は期間が満了している。

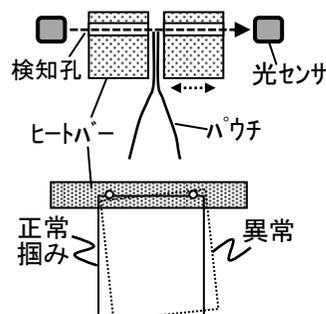


図1 ヒートシールの掴み不良検知

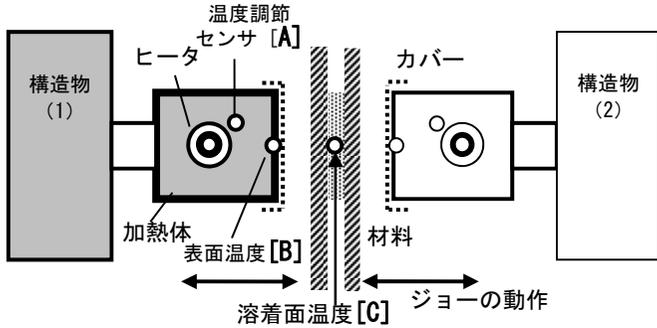
#### 4. 「溶着面温度測定法」開発のあけぼの

1980年初頭、筆者は計測工学的に診て、ヒートシールに関係する温度の管理ポイントは①加熱体(調節温度)、②被加熱物との接触面温度(加熱面)、③材料の接着面温度(溶着面温度)と解析していた。合理的なヒートシール操作は個々の材料に最適な加熱温度(溶着面温度)に到達させる加熱時間の制御が不可欠である論理に気付いていた。

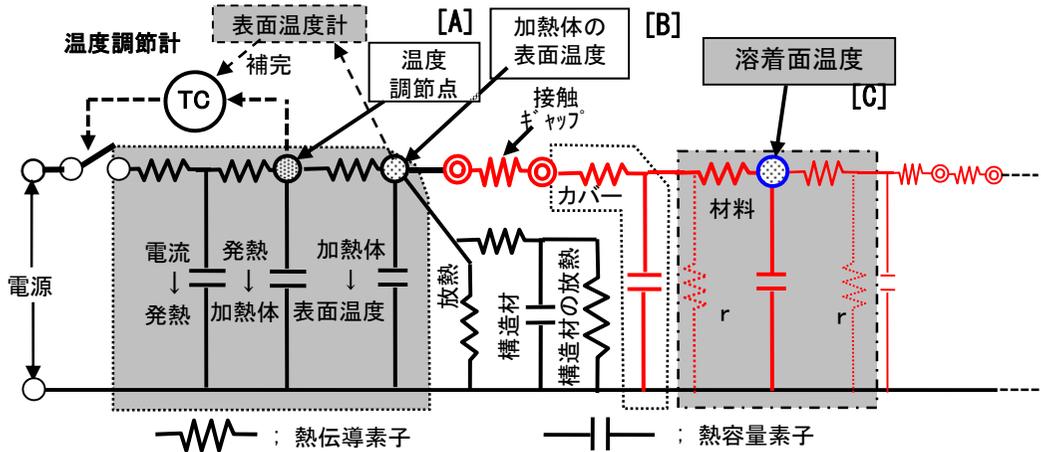
その論理構成を図2に示した。この構成に基づく計測法が「溶着面温度測定法：“MTMS”」と成って行く。

1970年終盤に生産が始まった味の素社の和風風味調味料“ほんだし”の瓶詰包装はホットメルトがコートされたインナーシール材をガラス瓶口にアルミ箔の誘導加熱(インダクションシール)の発熱を熱源にした接着を行っていた。このインナーシール材はキャップ内のリシール材(通称；メンコ)にソフトラミネーションされた状態で供給される。顧客

包装アーカイブス



(a) 加熱温度の定義と構成 [ジョー方式]



(b) ヒートシールの加熱系の相似回路 [ヒートジョー方式の片方の図示]

図2 ヒートシールの加熱系の構成要素の確認[ヒートジョー方式]

が開封するとリシール材からインナーシール材が剥がれ、瓶口に接着された状態で残るように設計されていた。顧客からのクレームはインナーシール材の一部が剥がれているものに対する“シール不良”の不安であった。本社からの要請は製造時に確実なシールがなされていることの証明が求められた。ホットメルトの接着性能は確認されていたから、接着

面のガラスを含め設計通りに昇温している確認が必要であった。「溶着面温度測定法」を先ず応用した。この計測には微細なセンサが必要であった。種々調査した結果、アメリカに10~40 $\mu$ mのK熱電対素線のあることを突き止め入手に成功。次の課題は微小電圧の高速増幅であった。K熱電対の出力は約0.4mV/10 $^{\circ}$ Cである。40 $\mu$ V/ $^{\circ}$ Cを1V以上(約100

## 包装アーカイブス

万倍)に増幅しないと当時のペン書きレコーダーでの記録を出せない。当時は高感度アンプや測定信号のデジタル変換の汎用技術がなかったので計測技術の開発から始めた。この技術を適用して、ガラス面とシール材の接触面の温度応答の計測に成功し、確実な接着を証明した。この時の計測データの一例を図3に示した。この証明によって、インスタントコーヒー等の多くのガラス瓶のインナーシール包装が水のり式に変更される中、“ほんだし”、“中華あじ”は世界で唯一のガラス瓶のインダクションシール包装品として今日まで残存し、水のりの水分によるカビの発生、風味の阻害等の除外にも貢献している。

レトルト包装におけるヒートシールの是非は商品生命そのものに影響する。1980年初頭に生産が開始されたレトルト包装“Cook Do”

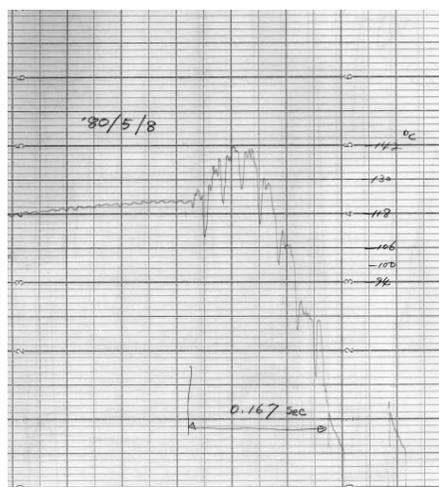


図3 瓶口のインダクションシール面の溶着面温度測定(1980年)

の包装ラインでは初期の「溶着面温度測定法」を積極的に展開し、溶着面温度ベースの温度管理を徹底して、HACCP 保証を達成していた。

図4は「溶着面温度測定法」の社内普及用に作られたTPM活動資料(1984年)である。

初期の「溶着面温度測定法」はおよそ15年間、味の素社(川崎工場)の数十億個の主要包装商品に展開され、「溶着面温度測定法」の威力を実証するとともにヒートシールの品質維持に貢献していた。

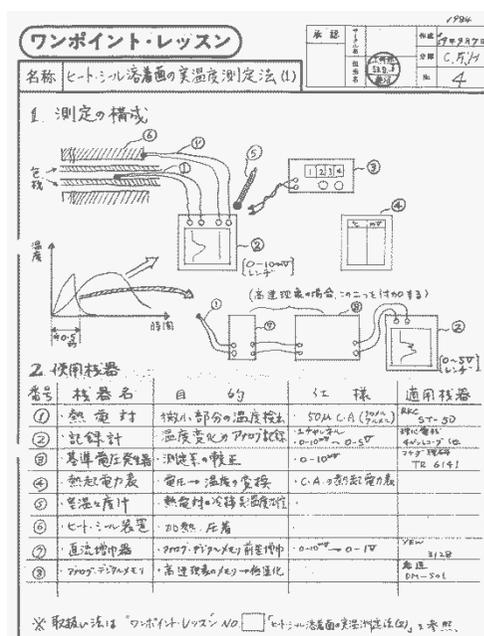


図4

## 5. 「溶着面温度測定法」の世界的普及のための早期退社の挑戦

開発技術の味の素社への貢献(約15年間)は十分果たしたので、筆者の希望は「溶着面温

## 包装アーカイブス

度測定法」を世界の包装界に普及したかった。上司との協議の結果、技術士のような公的な場での活動を条件に了解を戴き、技術士の取得に挑戦し、幸いにも速やかに合格できた。この時の実績論文は「溶着面温度測定法による包装工程のヒートシールクレームの改善」であった。1996年4月退社(55才)、翌月直ちに技術士事務所の活動を開始し、「溶着面温度測定法」の普及を開始した。

この頃、マイクロエレクトロニクスのはめざましく、IC化された高感度アンプや信号のA/D変換、通信技術、パソコンのアプリケーションソフト等が豊富かつ廉価に手に入るようになって、過っては至難であった溶着面温度測定技術も汎用化できる目途がたちキットの製作にかかった。1998年の東京パックで“MTMS”キットとして、「溶着面温度測定法」を世に問うた。溶着面温度応答が適格に計測できる装置の提供によって、ヒートシールの分野に革新的な発展を期待した。国内外の多数の企業、関係機関(約300社)の引き合いを戴き、ヒートシール技術の世界的な課題の大集約ができた。

### 6. 「溶着面温度測定法」によって分かったヒートシールメカニズム

1996年以降、IC技術を応答した溶着面温度計測が容易になって、ヒートシール現象の合理的な解析/評価ができるようになり、そのメカニズムも明確になってきた。主な特長

は加熱体の表面温度と溶着面温度の関係を取得すれば、そのデータに横断性を持たせることができる。代表的な知見を列挙すると次のようなものが挙げられる。

- (1) 加熱温度の定義を明確化
- (2) 溶着面温度応答(到達温度と時間)が確実に把握できるようになった
- (3) 溶着面温度とヒートシール強さの関係が容易に採取できるようになった
- (4) 圧着圧とヒートシール強さの定量的評価
- (5) 剥がれシールと破れシールの識別
- (6) ヒートシールの HACCP 保証の具体化
- (7) 剥がれシールの機能性; 剥離エネルギーの検証
- (8) ヒートシールの評価法マップの完成; 材料ヒートシール特性、材料のヒートシールの機能性の確認
- (9) 消費者の求めるヒートシールの機能性の“複合起因解析”の達成

これらの新規知見の殆どは日米の特許を取得し、多くの研究者、企業の利用に公開されている。

### 7. 【Hishinuma 効果】の発見は神様の贈り物

ヒートシール強さの発見は《加熱温度》を変数にした《引張強さ》として 1970年代から“伝統的”な了解に基づいて表現されてきた。しかし、採取データの横断性に課題があったので、種々のデータの中には《加熱時間》、《圧着圧》をパラメータにした表現が文

## 包装アーカイブス

献等にも紹介されている。これらの方法は試験毎に同一の結果が得られないことも度々ある。各材料メーカーはヒートシール強さのデータ提供において《自社試験法》の条件で提示している。今日もこの課題は継続していて、ヒートシール強さ値の横断性の欠陥になっている。ヒートシールの操作方法は最終ユーザーの裁断に任されていて機械メーカー、包装材料メーカーリーダーシップに課題が残っている。

ASTM は **2000 年** になって、ヒートシールの加熱方法に関する《F2029》を公刊し加熱方法の標準化を提示した。その要点は①《加熱温度》は加熱体温度＝加熱体調節温度、②《加熱時間》は加熱の《平衡時間》、③機差を考慮して、加熱温度ステップを 5℃以上としている。《加熱温度》と《加熱時間》の定義を明確にしたことは進歩と言える。温度ステップを 5℃以上としたことは、材料の熱接着特性の変化がステップ温度内に隠れてしまい従来の課題の改善には至っていない。筆者は **1980 年初頭** に溶着面温度応答を直接計測する「溶着面温度測定法」によって、到達《温度》と到達《時間》を同時に測定できるようにしているので、温度ステップは 0.2～0.5℃、時間は 1/100s の分解能のノウハウを公開提供している。

溶着面温度ベースの高精度の加熱調節を適用しても《加熱温度》／《引張強さ》の横断性にバラツキがありそうな知見を数年間

(**2006 年～2009 年頃**) 抱いていた。特に食パンのイージーピール包装材料のヒートシール特性の再現性のバラツキは顕著で、加熱温度の変動、加熱の不均一、圧着の不均一等の「不確かさ」要素の操作改善、時間を長くするとヒートシール強さが増すとされていたのを参考にして、分厚いカバー材料の適用でゆっくりの加熱した改善に 2 年程費やした。溶着面温度の測定キットの性能は著しく向上したが、バラツキの主要因の解明はできなかった。ある時、「破れかぶれ」でカバー材を外して、直接加熱したところ期待する接着特性が見事に発現した。この知見は加熱時間を長くすると安定したシールができると言われていた従来の「常識」を覆すものであった。この詳細は **2011 年** の日本包装学会の年次大会に「加熱速さによるヒートシール強さの発現の変移」【Hishinuma 効果】として発表した。カバーのテフロンシートの厚さを変え、加熱速さを調節した CPP (50 μm) の測定例を図 5 に示した。図中の X, Y 軸上の諸値をみても分かるように

①ヒートシール強さを固定すると加熱速さによって加熱温度が変移する

②溶着面温度を固定すると加熱速さによってヒートシール強さの発現が変移する

が発見された。新知見は従来の常識と大きな相違があった。更にこの知見を詳細に検討したところ従来は《ヒートシール強さ》を《加熱温度》を変数とする 2 次元現象として取り

包装アーカイブス

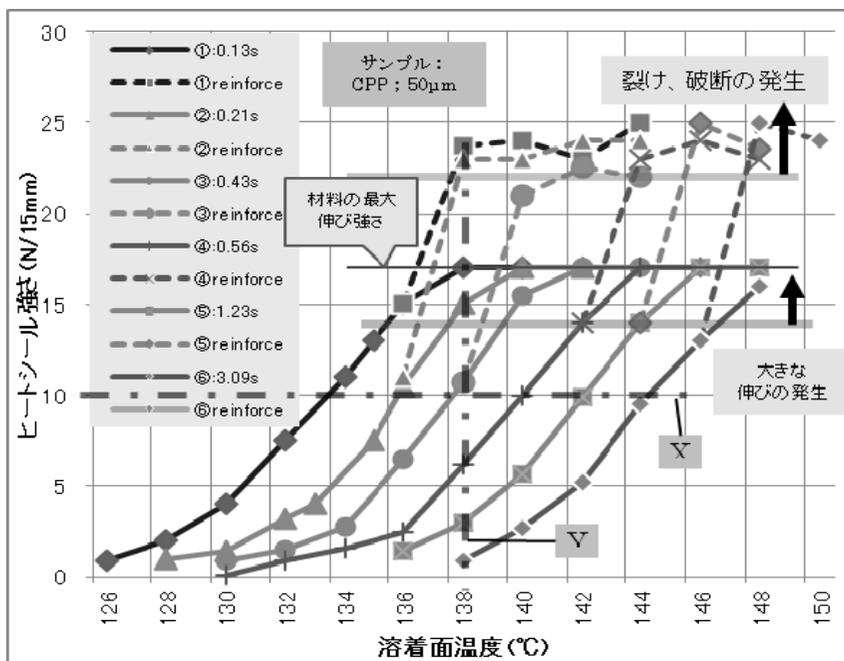


図5 加熱速さによるヒートシール強さの発現変移【Hishinuma 効果】  
加熱時間 (0.13~3.1s)のヒートシール強さの変移の様子

扱ってきたが、実は《ヒートシール強さ》は《加熱温度》、《加熱時間》を変数にする3次元現象であることが分かった。ヒートシール強さの測定値を横断的に取り扱えなかったのは測定のバラツキではなく、3次元現象を2次元に表現するときのパラメータ選択の仕方の相違による本質的な間違いであることが分かった。

この発見は溶着面温度の着想から30年余りの弛まぬ検討の帰結であった。

8. まとめ

本稿《ヒートシール技術のアーカイブ》で

は、筆者の30有年のヒートシール技法の合理化に取り組んだ経過を報告した。長い間、一企業内に保有されていたノウハウを技術士活動を通して公開した。多くの関係者からの問い合わせの集大成の活動報告でもある。今日、日本では老若男女は10ヶ/日以上ヒートシール製品を消費していると推定される。しかし消費者のユニバーサルデザインの視点から見ると、ヒートシール技術には「開封性」、「操作性」、「安全性」等の指摘が多く、必ずしも満足すべき状態でない。最近(2011年)発見された「加熱速さによるヒートシール強さの発現の変移」【Hishinuma 効果】がヒートシール

## 包装アーカイブス

技法の究極だとするならば、半世紀の間混迷していたヒートシール技法の標準化が一気に進展することを筆者は念じている。

又、「溶着面温度測定法」がヒートシール技法の主幹として機能することを期待している。本稿が日々、ヒートシール技術に苦慮している方々の福音になれば幸甚である。

菱沼技術士事務所代表 菱沼 一夫