

ホットメルト接着剤のトラブル事例とその接着特性

化学材料科

本間信行* 渥美博安**

株式会社ジャパン・スリーブ

片桐誠一郎 岩本 里

Investigation into the cause of peeling problems and the bonding property thereof

Nobuyuki HONMA, Hiroyasu ATSUMI, Seiichiro KATAGIRI and Satoru IWAMOTO

Hot melt adhesive is suitable for use in automation and mass production in manufacturing since it solidifies in a few seconds, and as such it is used in a wide range of industries such as the manufacturing of packaging materials and disposable diapers. However, there are also risks entailed in its use in mass production. In case of a failure to bond, a large volume of defects are produced and it is very difficult to identify the part of the production line where the problem has occurred without stopping the line. An example of such problems is an incident in which the adhesive peels off at the interface of the papers of the paper cases for storing optical disks, e.g. music CDs and movie DVDs, after shipment of that products. In this study, a relationship between the processing conditions and the adhesion quality for making the paper cases was investigated, and a cause of the defects was identified.

First, the variations in the temperature of the adhesive in the manufacturing process were large when it was measured in a factory for an entire day. Next, the result of a laboratory experiment to reproduce the incident on the production line was that the peeling area of the bonded zone greatly increased when the adhesion temperature of bonding was near the melting point of the hot melt adhesive. Furthermore, it was found that interfacial peeling was promoted by thermal shock after adhesion. These results suggest that the interfacial peeling was mainly caused by a lowering of the adhesion temperature of the hot melt adhesives in the manufacturing process.

Keywords : hot melt adhesives, peeling, melting point, thermal shock

キーワード：ホットメルト接着剤、剥離、溶融点、熱衝撃

1 はじめに

ホットメルト接着剤は数秒程度で接着が完了できるため、自動化や大量生産に向いており、包装や紙おむつ等の幅広い分野で使用されている。しかし、短時間で大量に生産されるため、トラブルが発生すると影響が大きく、また原因を特定することも非常に難しい。その具体的事例として、DVD等の光ディスクを収納する紙ケースにおいて、商品の保管中や納品後に、接着剤と紙材の表面で剥離する不良がある。この部分の製造工程では、予め裁断された紙材にホットメルト接着剤を塗布して折り曲げ、箱型に接着しており、剥離の原因は不明であった。そこでこの事例について、接着条件と剥離状態等を評価することで不良原因を探るとともに、

その接着特性を明らかにすることで同種のホットメルト加工分野への知見波及を目指した。

2 方法

2.1 製造工程のモニタリング試験

工程の概要を図1に示した。予め裁断された紙材にホットメルト樹脂を塗布し、型で曲げ、最後に圧縮して完成する。モニタリングは図2に示した塗布工程のノズルからサンプルへ吐出した直後のホットメルトの温度を測定した。放射温度計1及び放射温度計2(共にジャパンセンサー(株) TMHX-CN0500)はホットメルト温度を測定し、熱電対1及び熱電対2はホットメルトを吐出するノズルの温度、熱電対3は製造ライン

*) 現 富士工業技術支援センター 技術支援担当

**) 現 浜松工業技術支援センター 機械電子科

の中央、上側付近の空気温度を測定した（熱電対は全て理化工業㈱ ST-50）。測定した信号はデーターレコーダー（日置電機㈱ LR8431）にサンプリングタイム10msで記録して接着剤の塗布動作に相当する測定記録の平均値、最高温度、最低温度を算出した。

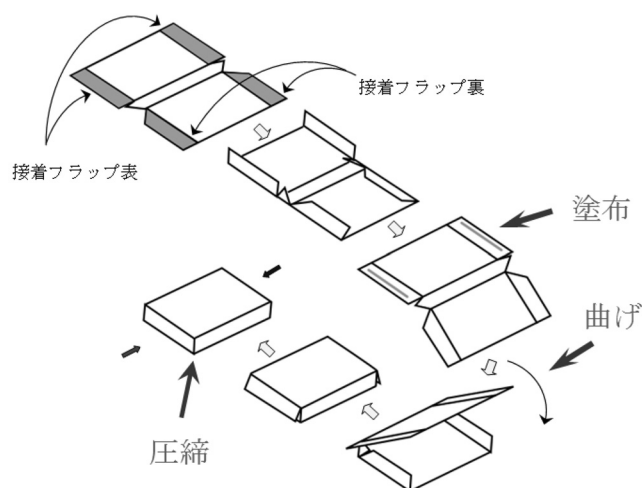


図1 工程の概要

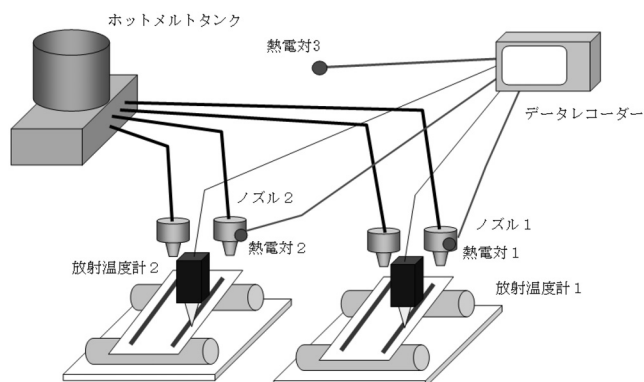


図2 塗布工程のモニタリング

2.2 要因の再現調査

(1) 接着試料の作製と剥離方法

工場内の製造設備で条件を変えて調査試料を作製すると生産作業の障害となるため、実験室内で条件を再現して試料を作製し、調査するための実験機（写真1、表1）を製作した。本機器は、部品を交換することにより、ホットメルト接着剤を特定の温度に加熱して溶融した後、紙を貼りあわせる接着動作と、その接着試料を剥離しながら強度を測定する剥離動作が一台の機器で実行できるように設計されている。

接着用試料は、予め工場設備で塗布を行った未製箱の紙材料から、接着剤つき紙材料（接着フラップ表）

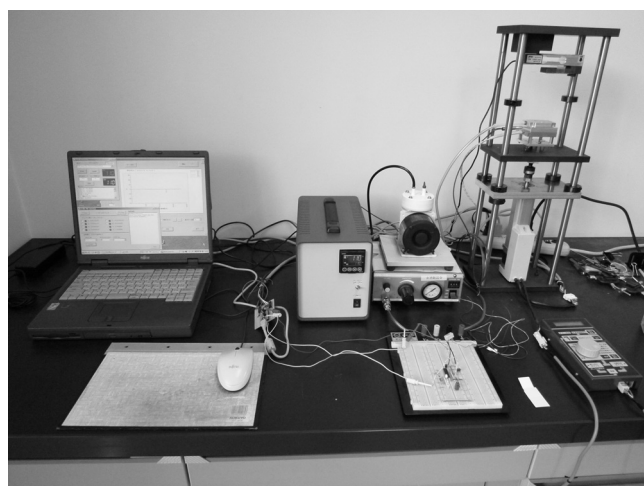


写真1 実験機の装置全景

表1 実験機の主な仕様

項目	仕様
加熱容量	200W（最高加熱温度 600℃）
温度センサ	K 熱電対
制御方式	（温 調）ON/OFF または PID （動作制御）電子制御シリンダによる精密位置決め、推力制御
可動長	100mm
制御力範囲	15N ～ 60N（最大推力 100N）
ロードセル	定格容量 300N（引張圧縮両用）
データ取込	デジタルデータ（周期可変 最小 10ms）
付随機能	・ソフトウェアによる連続ステップ動作 ・ステップ間のタイマー機能 ・エアチャックのオンオフ動作制御

を塗布長20mmで裁断し、被接着側の紙材料（接着フラップ裏）についても幅25mmで裁断した。接着動作は接着フラップ裏を、化粧面を表にしてロードセルのプラットホームにテープで貼り、接着フラップ表は化粧面を裏にしてヒーターヘッドにエアチャックで吸着させた。接着フラップ表の接着剤を設定温度で加熱溶融させた後、ヒーターヘッドを上昇させ、プラットホームに貼った接着フラップ裏に押し当てて接着し、0.5秒保持後にエアチャックを解除してヒーターヘッドを退避させた。なお、接着フラップ表と接着フラップ裏の相対的な接着位置は、実際の製箱加工に近くなるよう位置を微調整して接着している（写真2、左）。

作製した接着試料は24時間以上経過後、剥離動作を行った。剥離動作では接着フラップ表を緩やかに曲げ、接着面から間隔5mmでチャックし、接着フラップ裏を剥離ジグで固定して電子制御シリンダの設定値、

速度0.1cm/秒で剥離した（写真2、右）。

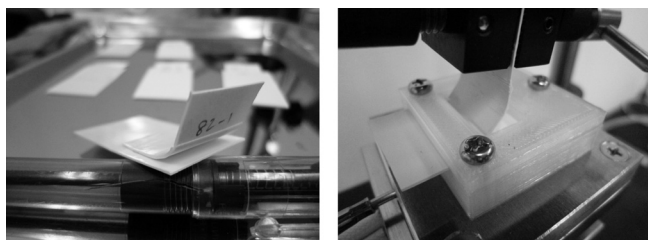


写真2 接着試料と剥離動作の写真
(左から 接着試料、剥離動作)

(2) 剥離状態の評価

剥離状態の評価は、界面剥離の発生を定量的に評価するため、界面剥離が発生した面積を全接着面に対する比率として画像計測から求め、界面剥離比率として算出した。なお、接着面を画像化するには、長さ既知のスケールを同時に画像化して基準とし、面積を算出した。

(3) 紙の表面加工と接触角測定法

ポリプロピレンシート貼りの表面加工紙（PP貼り）は接着性が悪いため、化粧加工として貼り付けられているPPシートには予めコロナ処理が施された材料が用いられている。一般的にコロナ処理の効果（活性）は時間が経過すると徐々に失われる¹⁾ことが知られており、工程ではコロナ処理の活性低下に配慮した材料管理が行われているが、ホットメルト接着剤の接着についての影響は定かでない。そこで各種実験の準備段階としてコロナ処理の程度が異なった紙材料の接触角を測定して活性を確認した。測定装置と条件を写真3と表2に示した。試料採取は製箱前の紙材料から接着フラップ裏の部分の採取して測定試料とした。測定した紙材料

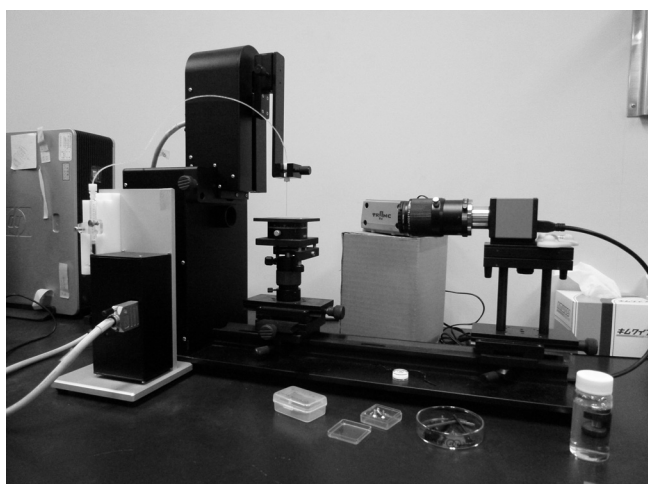


写真3 接触角測定装置

表2 接触角の測定条件

装置	KSV Instruments Ltd CAM200
滴下量	2 μ L（蒸留水）
測定時間	滴下から5秒間（画像測定による）

※ 測定開始から終了まで除電装置を使用。

はPP貼りーコロナ弱とPP貼りーコロナ強の2種類で、各5試料を測定し、1試料あたり5点測定して平均した。

(4) 接着温度を変えた剥離試験

剥離試験の試料を（1）の操作で作製し（紙材料：PP貼りーコロナ弱、接着温度：160～82℃ 各n=3）、室温で剥離操作を行って剥離状態を評価した。なお、接着に関する温度の表記は全て設定温度で記した。

(5) コロナ処理の強弱を変えた剥離試験

剥離試験の試料を（1）の操作で作製し（紙材料：PP貼りーコロナ弱、PP貼りーコロナ強、接着温度：86℃、82℃ 各n=3 計12）、室温で剥離操作を行って剥離状態を評価した。

(6) 環境温度を変えた剥離試験

剥離試験の試料を（1）の操作で作製し（紙材料：PP貼りーコロナ弱、接着温度：140℃、90℃ 各n=12）、実験機を恒温恒湿槽（エスペック(株) PDL-4SP）内に設置して、槽温度を変えた条件（5,25,35,45℃、湿度は50%に設定、各n=3）で、剥離操作を行って剥離状態を評価した。なお、槽温度の条件を変更する際は、設定温湿度で5分以上安定させてから剥離操作を行った。

(7) 熱衝撃を与えた剥離試験

剥離試験の試料を（1）の操作で熔融点以下の温度で接着して作製し（紙材料：PP貼りーコロナ弱、PP貼りーコロナ強、接着温度：82℃、74℃、各n=3 計12）、チャックつきポリエチレン袋に入れて-15℃の冷凍庫と40℃の乾燥炉を1時間ごと交互に移動させ、合計8サイクルの熱衝撃を与えた。その後、剥離操作を行って剥離状態を評価した。

3 結果および考察

3.1 製造工程のモニタリング

塗布直後におけるホットメルト接着剤の温度を、1日分の工程作業全体にわたって放射温度計で計測して記録した。その計測値について、吐出動作時の温度を平均してプロットし、最大値と最小値をエラーバーで

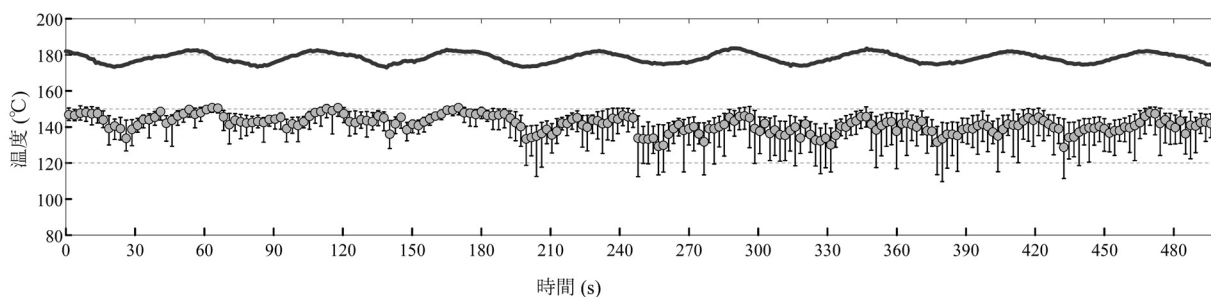


図3 工程のモニタリング結果（塗布直後のホットメルト温度）

放射温度計 1 (●: 平均 I: 最大値 - 最小値) —: 熱電対 1

表して連続的に解析した結果（放射温度計 1、熱電対 1）を図 3 に示した。ノズルの温度は、約 60 秒周期で変動しており、接着剤の吐出温度の平均値もその変化に追随していた。また、210 秒前後で接着剤の温度変動が大きくなっており、バラツキが大きいことが判明した。この結果から、接着剤の温度に着目して、再現実験を進めた。

3.2 要因の再現調査

(1) 接着温度を変えた剥離試験

接着温度を変えて界面剥離の状態を評価した。その界面剥離比率の結果を図 4 に示した。接着温度が低下すると界面剥離が増大する傾向が見られ、界面剥離比率が最大となる接着温度はホットメルト接着剤の溶融点付近となった。接着温度の低下は大きく界面剥離を増加させることが判明した。

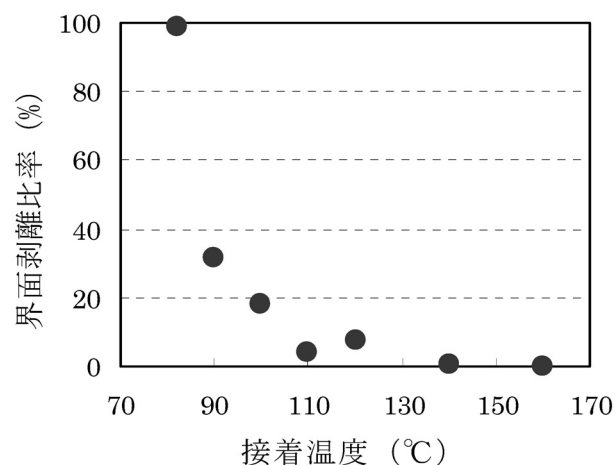


図4 接着温度と界面剥離比率

(2) 紙の表面加工と接触角

接触角の測定結果を、表 3 に示した。PP 貼りーコロナ強は PP 貼りーコロナ弱に比べて約 20° 小さい結果であった。PP 貼りーコロナ強はコロナ処理の活性が保持されている状態が確認された。

表3 接触角の測定結果

番号	平均接触角 角度 (°)	
	PP 貼りー コロナ弱	PP 貼りー コロナ強
1	84.9	61.2
2	84.3	66.7
3	84.8	64.0
4	86.3	58.4
5	84.2	57.8
全平均	84.9	61.7

(3) コロナ処理の強弱を変えた剥離試験

接触角を確認した PP 貼り（コロナ強とコロナ弱）について、界面剥離が最大になる溶融点付近で接着して、剥離の状態を比較した。結果を図 5 に示した。溶融点付近の接着温度では界面剥離の比率が高く、コロナ強の方がやや高い結果となったが明確な差はなく、コロナ処理の強弱は界面剥離にほとんど影響が無いと判断された。

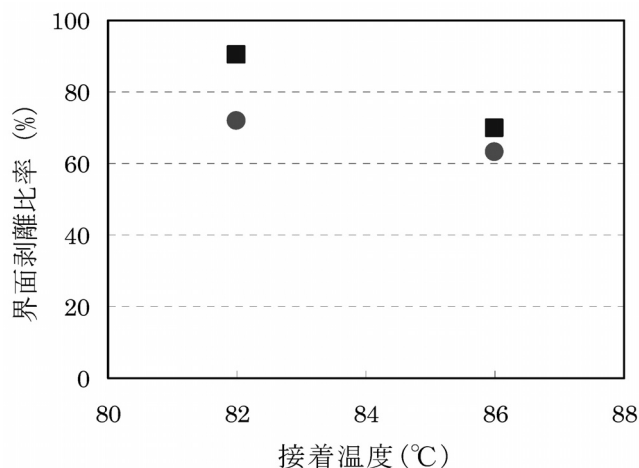


図5 コロナ処理の強弱と界面剥離

●: PP 貼りーコロナ弱 ■: PP 貼りーコロナ強

【報告】

(4) 環境温度を変えた剥離試験

PP貼り-コロナ弱の試料を、接着温度90℃と140℃で接着し、環境温度を変えて剥離した。接着温度90℃の試料について環境温度ごとに剥離状態を面積比率で表した結果を図6に示した。剥離動作による主な破壊状態が35℃以上で材料破壊から凝集破壊に変わっており、この状況は接着温度140℃の試料でも同じであった。また、接着温度140℃の試料では界面剥離は発生しなかったが、接着温度90℃の試料では環境温度25℃以上の条件で界面剥離が発生し、剥離の環境温度が上がっても、接着温度の低下で発生した界面剥離は残る結果となった。

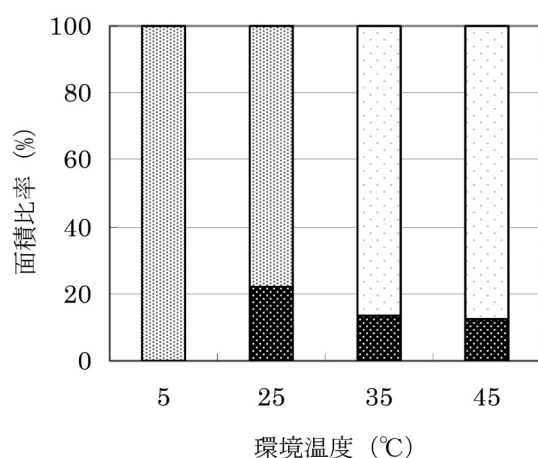


図6 環境温度の変化による剥離状態
(接着温度90℃)

■ 界面剥離 □ 凝集破壊 □ 材料破壊

(5) 熱衝撃を与えた剥離試験

剥離が発生しやすい溶融点以下の温度（接着温度：82℃、74℃）で接着したPP貼り（コロナ強とコロナ弱）の試料に、熱衝撃を与えて界面剥離の状況を評価した。熱衝撃なしの試料と比較した結果を表4に示した。接着温度82℃では、熱衝撃なしの条件でも約70～90%の剥離が発生していたが、熱衝撃を受けるとさらに

剥離が促進され、約5～10%の剥離の増加が見られた。また、接着温度74℃では、熱衝撃なしの条件では界面剥離が発生していなかったが、熱衝撃後は界面剥離が発生し、約10～30%の変化が見られた。この結果から、熱衝撃は界面剥離を促進すると考えられた。

表4 熱衝撃による界面剥離の変化

接着温度	紙材	界面剥離比率(%)		
		熱衝撃なし	熱衝撃あり	差
82℃	PP貼り-コロナ弱	72	85	13
	PP貼り-コロナ強	90	96	6
74℃	PP貼り-コロナ弱	0	11	11
	PP貼り-コロナ強	0	33	33

4 まとめ

- ・界面剥離は、接着温度の低下で増大し、溶融点付近で最大となった。
- ・コロナ処理の強弱は、界面剥離の状況に影響が見られなかった。
- ・剥離の環境温度が35℃以上の条件では材料破壊から凝集破壊に変わるが、接着温度の影響（界面剥離）は残る結果であった。
- ・熱衝撃は剥離を促進する作用が認められた。

これらの結果から、ホットメルト接着剤の剥離を防止するには、接着を適正な温度範囲で完了し、保管環境にも注意を払うことが重要と考えられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、御助言と試料の提供をいただいた積水フーラー株式会社、鈴木様に感謝いたします。

参考文献

- 1) 羽田正紀：プラスチックフィルムの表面改質，日本印刷学会誌，47（2）.78－83（2010）.