

フジシール財団 研究助成事業  
成果報告書

公益財団法人フジシール財団  
理事長 岡崎 裕夫 殿

報告日 2021年 5月 31日

研究課題	各種高分子フィルム接合のメカニズムの解明と体系化	助成金額
		500万円
ふりがな	みやた けん	研究助成申請年度
研究者氏名	宮田 剣	2019年度 ・ 2020年度
所属機関	山形大学 大学院有機材料システム研究科	研究期間
役職	准教授	2020年4月～2021年3月
連絡先	〒992-8510 山形県米沢市城南 4-3-16 山形大学 大学院有機材料システム研究科 TEL 0238 ( 26 ) 3069	

下記の通り、研究成果を報告いたします。

記

1. 研究成果の概要（こちらに報告いただいた内容はそのまま当財団ホームページ上で公開します。）

<高分子フィルムの接合メカニズムの体系化>

接着剤を用いずに高分子フィルムを相互に接合する技術は包装において必須の技術である。一般にヒートシールは汎用の技術として古くから使われている。しかし、実際にはヒートシールすることが難しい材料も存在する。本研究ではヒートシール及び超音波シールの基礎概念を明らかにし、シール特性に影響を及ぼす主要因子を明らかにする。次に様々な熱可塑性高分子を接合し得る手法を選択できる体系を明らかにする。

熱可塑性高分子材料について接着剤等を用いずに外部からエネルギーを付与し接合する過程は図1のように示すことができる。①重要ポイントに示す温度での一体化、②重要ポイントで示す固化が重要な点である。

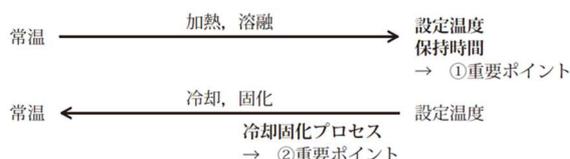


図1 熱可塑性高分子材料の接合メカニズムの基本

(1) ヒートシールの基礎概念

ヒートシールに適する高分子材料とは結晶化しやすい高分子材料である。具体的には、結晶化速度が大きく瞬時に結晶化する高分子材料である。ポリエチレン (PE) やポリプロピレン (PP) が該当する。実際、食品包装などでヒートシールされる高分子材料はこのどちらかである。さらにPEの融点は100～110℃程度、PPは130～160℃程度であり比較的低温である。PEやPPは、加熱時の設定温度が比較的低いこと（常温からの温度差が100℃程度）、冷却時に結晶化により瞬時に固化できる特徴を持つ材料である。

PEを例に具体的なヒートシール過程を説明する。PEの場合、図1に示した加熱時の設定温度は、通常融点近傍の温度である。保持時間は材料の厚みなどに依存する。PEは非常に結晶化しやすい材料である。融点の直下でも著しく結晶化速度は大きい。それゆえ熱板での保持が終了し空气中に解放されると瞬時に結晶化し固化す

ることができる。そのため PE の場合、加熱時の設定温度と保持時間を適正に制御すれば、冷却固化についてはあまり考慮する必要がなく概ね問題なくヒートシールできるのである。(文献:5,6) PE や PP のようなヒートシールに適する高分子材料の条件は、融点が比較的低いこと、結晶化速度が大きいことといえる。

## (2) 超音波シールの基礎概念

超音波シールに適する高分子材料とはガラス転移点が常温よりも高く、常温でガラス状態にある高分子材料である。具体的には、汎用高分子であるポリスチレン (PS)、ポリメタクリル酸メチル (PMMA)、ポリエチレンテレフタレート (PET)、ポリ乳酸 (PLA) 等が該当する。高融点、高ガラス転移点をもつスーパーエンジニアリングプラスチックと呼ばれる材料でも適応しやすい。

これらの材料は常温では十分に強固な状態にある。例えば PS ではガラス転移点は  $90\sim 100^{\circ}\text{C}$  程度である。このような材料に超音波の振動を加えると材料内部で共振し、局所的な発熱を起こす。図1の加熱温度まで温度上昇させることが可能となる。この熱が接合界面に伝導し一体化する。超音波振動付与の終了後に固化するものである。図2に PS フィルムにおける超音波接合の接合界面の顕微サーモグラフィを示す。フィルムの内部から発熱し、界面へ熱伝導していることを示している。PS のように超音波シールに適する高分子材料の条件は、ガラス転移点が常温よりも十分高いことである。結晶性、非晶性に依存するものではない。

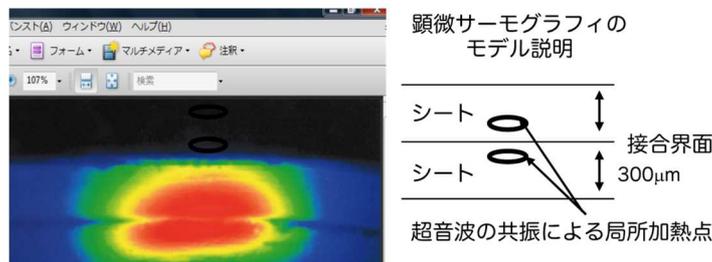


図2 PS フィルムにおける超音波接合の接合界面の顕微サーモグラフィ

## (3) 接合メカニズムの体系化

熱可塑性高分子の接合は大きくは2つに大別される。図3に接合適正のメカニズムの図を示す。

### ① 低ガラス転移点高分子 (高結晶性高分子)

PE や PP 等の低ガラス転移点高分子は、ヒートシールが最適な接合方法である。融点直下で瞬時に結晶化により固化できることが大きな要因である。

### ② 高ガラス転移点高分子 (低結晶性高分子)

PS, PET, PLA 等の高ガラス転移点高分子は、超音波シールが最適な接合方法である。常温でガラス状のため局所加熱が可能であることが大きな要因である。

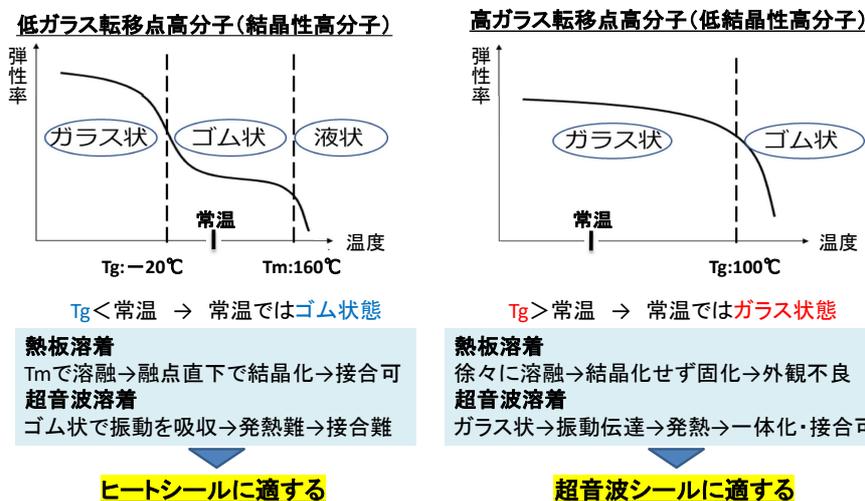


図3 熱可塑性高分子の接合適性を分類する基本的なメカニズム

2. 研究成果のパッケージ産業への貢献の可能性（こちらに報告いただいた内容はそのまま当財団ホームページ上で公開します。）

#### 〈パッケージ品質管理への貢献〉

現在でも様々な製造現場にてシール不良現象は発生し、その管理には継続的に課題が存在し根本的な解決はなされていない。一般的にヒートシールされるのはPEやPPフィルムである。本研究で明らかにしたそれらの接合メカニズムは、学術的のみならず、実用的にも有用な知見である。製造現場でのシール品質を維持するうえでも有益な知見であると考えている。

#### 〈新規な包装設計への貢献〉

現在、一般にヒートシールされる高分子はPEやPPにほぼ限られる。本研究の成果は、PEやPPをシール材料に用いず全く新しい包装設計を可能にするものである。例えば本研究では外装フィルムとして用いられるPETや植物由来材料であるPLAフィルムを接合する技術を提案した。これらの技術は既存の高分子包装設計を刷新し、将来にわたり持続可能な高分子包装システムを構築する一助となると期待できものである。

#### 〈SDGs達成への貢献〉

パッケージ産業は人類が文化的に存在し続けるに亘って必要な産業である。また世界各地に分散して存在するものであるといえる。パッケージシステムは将来に亘り持続しなければならないものである。各種高分子フィルム接合のメカニズムを体系的に示すことは学術的のみならず、実用的にも有用な知見となる。近い将来、既存の高分子包装設計を刷新し、将来にわたり持続可能な新しい高分子包装システムを構築する一助となることが期待できるものである。

3. 学会発表、学会誌等への論文掲載、産業財産権出願などの実績（現時点で未発表・未掲載・未出願のため、上記「1. 研究成果の概要」、「2. 研究成果のパッケージ産業への貢献の可能性」の当財団ホームページ上の公開の延期を希望される場合、その旨記載してください。）

#### 〈論文発表（査読有）〉

1. Study of the interfacial adhesive strength of a heat-shrinkable multilayer film  
Shotaro Nishitsuji, Chie Shinozaki, Ken Miyata\*, Shinya Yamada, Jun Yoshida  
**Polymer Engineering and Science**, 2021;61:836–842.

#### 〈学会発表〉

2. イージーピールフィルムの熱接合部における力学的特性に及ぼす接合温度の影響  
橋本静男, 橋本由美, 山田和志, 宮田剣, 日本包装学会第29回年次大会（2020年7月15日）, c-01
3. 多層シュリンクフィルムへの加熱・加圧が層間接着性に与える影響  
石田克典, 宮田剣, 日本包装学会第29回年次大会（2020年7月15日）, g-01
4. 多層シュリンクフィルムの延伸温度が層間接着性に与える影響  
石田克典, 宮田剣, 日本包装学会第30回年次大会（2021年7月1日）, a-06（発表予定）

#### 〈書籍執筆〉

5. 接着・接合の支配要因と最適化技術  
宮田剣（分担執筆）, S&T出版, pp49-52, 2021年2月5日, ISBN: 978-4-907002-84-8
6. 封止・バリア・シーリングに関する材料, 成形製膜, 応用の最新技術  
宮田剣（分担執筆）, 技術情報協会, pp186-194XX, 2021年4月30日, ISBN: 978-4-86104-838-8