京都工芸繊維大学

氏　　名	こにし れいいち **小西　礼一**
学位(専攻分野)	博　士（学術）
学位記番号	博甲第　582　号
学位授与の日付	平成 22 年 9 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	工芸科学研究科　先端ファイブロ科学専攻
学位論文題目	**環境配慮型フィルム熱接合部の力学的特性に関する研究**
審査委員	(主査)教授　濱田泰以 教授　西村寛之 教授　喜多泰夫 (株)パーキンエルマージャパン分析機器事業部 アプリケーションマネージャー　辻井哲也 富士インパルス(株)取締役研究開発部長　橋本静生

論文内容の要旨

経済や産業が発展し、生活が豊かになっていく一方で、生活ゴミや産業廃棄物等の処理問題、環境問題、さらに地球温暖化問題など様々な問題が生じている。日常生活における身の回りの多くの製品が包装されて販売されており、耐久性や機能性向上などの理由からそれら包装材料の使用量も増加しているのが現状である。しかし、二酸化炭素排出による地球温暖化などの環境問題がクローズアップされてきており、包装材料の削減、回収、再利用など環境への配慮を優先する取組が進んできている。

これら環境への配慮として、生分解性ポリマー等を用いること、あるいは廃プラスチックを埋め立てずフィルム原料として再利用するマテリアルリサイクルなどの方法が考えられる。しかしながら、一般的にリサイクル材料を用いたフィルム作製は困難であり、特に廃 PET ボトルは年々増加傾向にあるものの、リサイクル材料として利用するには溶融粘度が低いために利用できない問題があった。それゆえ、新たなフィルム成形および包装製品の熱接合部における強度等の新たな評価方法を検討することは、今後の包装技術の向上や環境問題にとっても非常に重要なことであると言える。本研究では、熱接合フィルムの熱接合部における強度低下および熱接合性に関する留意点を述べ、次いで、分光法の 1 つである複屈折測定法を用いて熱接合部のフィルム強度の低下について検討している。

第 1 章では、論文の位置づけ、一般的な包装材料のヒートシール法および包装容器のヒートシール部分における問題点等について述べている。第 2 章では、多層ラミネートフィルム成形法の 1 つであるサーマルラミネート法を利用してナイロン/ポリエチレン多層ラミネートフィルムの成形を行い、その成形時における熱履歴の影響について検討している。その結果、サーマルラミネートの熱履歴が熱接合およびフィルム強度に影響しないことを示している。第 3 章では、最適な熱接合温度条件よりも高温で熱接合を行い、熱接合部の強度への影響について力学試験および複屈折測定法を用いて検討している。その結果、熱接合温度が高くなるに連れて引張強度および突き刺し強度が低下することが明らかとなった。これらの結果は複屈折測定の結果と同様の傾向を示すことがわかり、熱接合フィルムにおける熱接合部の強度低下を複屈折測定を用いて定量的に

評価できることを示している。第 4 章では、リサイクル PET 原料にカップリング剤と触媒を適量添加することにより 60μm 厚の未延伸 PET フィルムの製造が可能となることを示している。第 5 章では、ナイロン/ポリエチレンサーマルラミネートフィルムおよびリサイクル PET フィルムの熱接合境界部における円孔切り欠き引張試験を行い、熱接合温度の変化による熱接合境界部の強度低下率を評価・検討している。その結果、フィルム熱接合境界部の強度低下を円孔切り欠き試験で評価できることを示し、今後の包材設計をする上での指標となることを示している。第 6 章では、リサイクル PET 延伸フィルムの延伸倍率の違いによる力学物性および熱接合性の違いについて検討している。第 7 章では、生分解性ポリマーの 1 つであるポリ乳酸(PLA)フィルムを用いて、Essential Work of Fracture(EWF)の概念である本質的な破壊の仕事と塑性変形の仕事に分けて熱接合部の破壊挙動を検討している。第 8 章では、この研究の実証成果をまとめ、さらにそれらの結論の意味するところを吟味している。

本論文においては、熱接合フィルムの熱接合部および熱接合境界部における強度低下について力学試験および円孔切り欠き試験を用いて評価できることを示している。さらに、複屈折測定法を用いることにより熱接合部における強度低下を定量的に評価できることを示している。

論文審査の結果の要旨

本論文では、ナイロン/ポリエチレン多層フィルムの熱接合部におけるフィルム強度の低下について、力学試験を行い評価しており、特に複屈折測定法を用いて詳細に検討・評価している点に特長がある。また、複屈折測定法に得られたフィルム熱接合部の複屈折率は、力学強度の結果と相関がある、すなわち、複屈折率の低下に伴い、熱接合部が緩和していることを示しており、非破壊試験により定量的に結果が示されている。また従来リサイクル PET の未延伸フィルムの作製は困難であったがカップリング剤を適量添加することにより、作製を可能としている点においても評価できる。さらに、これらリサイクル PET 延伸または未延伸フィルムの熱接合部に対しても複屈折測定法によりフィルム強度を定量的に測定可能としているところも評価できる。これらの研究成果により、包装フィルムの熱接合部および熱接合境界部の力学物性を非破壊で定量的に評価することに成功したことは、工業的に大変意義があり、さらにリサイクル PET フィルムの作製を可能にしたことは、環境負荷軽減という観点からも評価できる。

本論文の内容は次の 8 報に報告されており、8 報すべて申請者を筆頭著者とするものである。

(1)Reiichi Konishi, Yasuo Hashimoto, Yumi Hashimoto, Masanori Anan, Tetsuya Tsujii, Mitsuhiko Morimoto, Kazuo Kitagawa, Umaru.S.Ishiaku, Masaya Kotaki, and Hiroyuki Hamada; "FRACTURE BEHAVIOR OF HEAT-SEALED POLY(LACTIC ACID) FILMS", SPE-ANTEC Technical Papers, 52, pp.2231-2235 (2006).

(2)Reiichi Konishi, Kazushi Yamada, Yasuo Hashimoto, Yew Wei Leong, Tetsuya Tsujii, and Hiroyuki Hamada; "MECHANICAL PROPERTIES OF HEAT-SEALED PART IN THERMAL LAMINATED FILM", SPE-ANTEC Technical Papers, 54, pp,1460-1464(2008).

(3)Rei-ichi Konishi, Kazushi Yamada, Yasuo Hashimoto, Yew Wei Leong, Tetsuya Tsujii, and Hiroyuki Hamada; "MECHANICAL PROPERTIES OF HEAT-SEALED

PART IN ENVIRONMENT-FRIENDLY FILM", SPE-ANTEC Technical Papers, 55, pp2819-2823(2009).

(4)Rei-ichi Konishi, Kazushi Yamada, Yasuo Hashimoto, Yew Wei Leong, Tetsuya Tsujii, and Hiroyuki Hamada; "MECHANICAL PROPERTIES OF HEAT SEALED RECYCLED POLY(ETHYLENE TEREPHTHALATE) SHRINK FILM", SPE-ANTEC Technical Papers, 56, pp2217-2220(2010).

(5)Rei-ichi Konishi, Yew Wei Leong, Kazushi Yamada, Yasuo Hashimoto, Tetsuya Tsujii, and Hiroyuki Hamada; "EVALUATION OF PUNCTURE RESISTANCE　AT THE HEAT-SEALED AND BOUNDARY REGIONS OF POLYAMIDE/POLYETHYLENE THERMAL LAMINATE FILMS", Joumal of Applied Polymer Science,(Submitted).

(6)小西礼一, 山田和志, 橋本靜生, 辻井哲也, Yew. W. LEONG, 宮田剣, 濱田泰以, "ナイロン/ポリエチレンフィルムの熱接合部及び非熱接合部における境界部の力学的特性の評価", 日本包装学会誌, (投稿中).

(7)小西礼一, 宮田剣, 山田和志, Yew. W. LEONG, 橋本靜生, 濱田泰以, "リサイクル PET フィルムの未延伸と延伸フィルムの熱接合及び熱接合部の評価", 日本包装学会誌, (投稿中)

(8)小西礼一, 橋本靜生, 山田和志, 濱田泰以, 「リサイクル PET フィルムの加熱部および加熱境界部における力学的特性」, 成形加工, (投稿中)

以上の結果より、本論文の内容は十分な新規性と独創性、さらに工業的な意義があり、博士論文として優秀であると審査員全員が認めた。