

【新機能性材料的開發及應用二】

具備高導熱性新型 PET 薄膜的研發

蘇裕昌*

Development of New Highly Thermal Conductive PET Film

Yu-Chang Su*

一、研究背景

二軸延伸 PET (Polyethylene Terephthalate) 薄膜具有強韌性、耐熱/耐寒性、耐化學藥品性等優越的特性，因而可供在各領域上的各種用途上使用。此外，又具優越加工及絕緣性等，已經在各種產業/民生機器馬達及風力發電等電機、電纜、電路、電池上做為絕緣材料上應用很長時間。

為了實現物聯網(Internet of things ; IoT) 社會的發展與零排放(Zero emission) 社會等的建立，在以 PET 薄膜作為絕緣材料的各種產業/民生機器中，各產業機器等有必要提升輸出量、提高安全性、降低環境負荷等。因此，有必要解決因熱(溫度升高)產生之各種問題。例如：

- (1). 在各種類型的馬達和發電機中，由於溫度升高所導致的運行效率降低。
- (2). 在電纜和電路中，由於溫度升高所導致的資訊處理能力和傳輸效率降低。
- (3). 在電池材料中有必要解決在高溫環境下的容量降低及由於局部加熱引起的短路。

一般，作為防止溫度的上升對策，通常在用金屬或石墨、橡膠製的散熱片，及因放熱接着劑等所因起的發熱機器、或在部材的表面上設置以外部散熱冷卻體或框架等進行散熱。然而，在機器件內部的各部位上所使用經各種形狀加工的 PET 薄膜及 PET 複合材的絕緣構件，因統的 PET 薄膜的遮蔽了內部所產生的熱，而很難將熱量散發到外部。因而，期待能開發出有效地抑制由於發熱引起的溫度上升及具絕緣性、高導熱性的 PET 薄膜。

二、提升薄膜的導熱率 (Thermal Conductivity) 的基礎

所謂的導熱是指是熱量從物質的高溫側向往低溫側移動的現象，膜的厚度方向的導熱的容易性(導熱性)與並且取決於材料的導熱率和厚度。取決於材料的固有傳導率和厚度間的相關可由式(1)表示之。通過該公式，導熱率越高、厚度越薄的薄膜的導熱性會越佳。

$$\text{導熱性 } \alpha = \text{導熱率} / \text{薄膜厚度} \dots\dots\dots(1)$$

為了使薄膜具高導熱性，需要將構成薄膜的樹脂無機類絕緣材料(無機粒子)混合。相反的，內部中若含有熱傳導率低的空氣存在，則熱會被空氣阻斷，即使無機粒子含有高濃度其導熱率也會因此降低。因此，薄膜必須含有高濃度無機粒子且不含空氣層。

三、具備高導熱性的革新 PET 薄膜的開發

(一)、二軸延伸 PET 薄膜製程及提升高導熱 PET 膜課題

二軸延伸 PET 薄膜的製程與製備高導熱 PET 薄膜課題，如圖 1 所示。PET 二軸延伸薄膜製造，首先藉由在擠出機中將 PET 樹脂加熱到在高於 PET 樹脂熔點溫度，使 PET 樹脂溶融後，將其從稱為 T 模頭(T die)的吹嘴擠壓到冷卻器的冷卻鼓(Drum)上並使之冷卻以形成片材。其次，再將片材分別在縱向和橫向，在不低於玻璃轉變溫度下延伸，經 PET 分子鏈定向後再施加熱處理使結構固定後再將 PET 膜捲起。

為了提高薄膜的導熱性，需要在 PET 薄膜中使其含有大量具有高導熱性和絕緣性的無機粒子。然而，由於 PET 和無機顆粒是不屬同類的素材，因此在接觸的界面處兩者間的密著力很小，如果含有多量無機粒子的 PET 樹脂被拉伸，則施力到 PET 和無機粒子間的界面，常會有發生剝離的現象，從而在薄膜中形成許多具低導熱率的孔隙(Void)。由上述，以常法之二軸延伸法製備高導熱 PET 薄膜被認為是不可能的(青山滋，2018)。

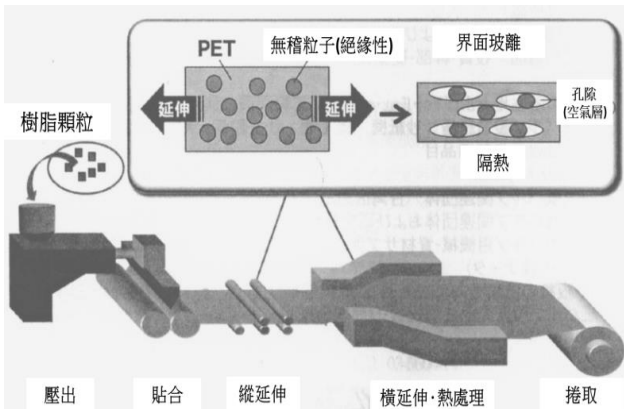


圖 1. 二軸延伸 PET 的製造程序與提升導熱率的課題(青山滋，2018)

(二)、製備高導熱 PET 薄膜的技術重點

本次所新開發的延伸技術是開發出將含有無機粒子的 PET 達到在不產生空隙狀態下進行延伸的技術，達到提升二軸延伸 PET 薄膜的導熱率。實施本技術要點如圖 2 所示，藉由融合以下兩種技術，實現高幅度的抑制空隙的生成的延伸。

界面層形成：獨自開發藉由粒子表面處理技術，在無機顆粒和 PET 之間界面處形成界面層以提高界面密著性的技術。處理結果與與傳統技術相比，可達到減少在延伸時所產生的空隙量(空隙率)。

獨特的聚酯設計：藉由在延伸時對 PET 進行分子鏈配向時進行奈米級構造的控制，達到容易變形，在延伸時可以降低應力。

測量所得薄膜的導熱率的結果顯示於圖 3。以舊有的技術製備 PET 導熱性薄膜時，在膜中會形成大量空隙，由於空氣的隔熱效果，即使含有高濃度無機粒子，但因在膜中形成大量空隙使得導熱率甚至低於一般 PET 膜如圖 3 (青山滋，2018)。

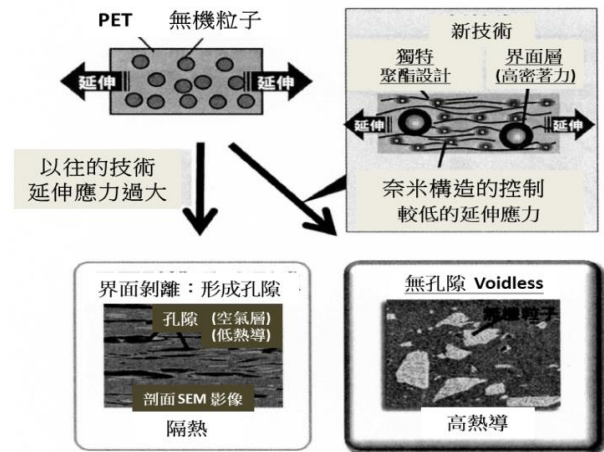


圖 2. 製備高導熱 PET 薄膜的技術重點(青山滋，2018)

藉由採用新的粒子表面處理技術，成功的以提升無機粒子與控制 PET 構造到奈米水準，在二軸延伸時可均一降低延伸應力的技術，成功地達到在樹脂二軸延伸工程大幅降低在阻害熱傳的主要因子的孔隙的生成的結構發現具有優異的導熱性，在二軸延伸 PET 薄膜達到世界最高水準的導熱性，是一般 PET 膜的導熱率約 2.5 倍。

新開發品的導熱膜性的效果之一例顯示如圖 4 所示。在熱源上加熱之金屬片上放置開發品，其厚度方向的導熱情形以熱顯圖(Thromography)觀察結果，開發品薄膜表面溫度上昇很快，可觀察到熱可容易透過反面，而可確認薄膜的昇溫速度開發品較一般 PET 膜約可快 2.5 倍，且可到達溫度也較高。

(三)、高導熱性 PET 薄膜的特性色

本次所開發的產品的導熱率比普通 PET 薄膜大約提升 2.5 倍，並且已完成確立，在 50-250 μm 的薄膜厚度的製膜可以通過本導熱水準。本開發品與一般市販的放熱片不同如圖 5 所示。就有的放熱片通常是以具柔軟性的粘彈性類樹脂材料為基質，使其含有高濃度的無機粒子製備，因而其機械特性低微其缺點，別是薄的放熱片容易破斷，操作性差。因此其他放熱片要付与形態的加工有其難度。相反的，本開發品具有超過一般 PET 薄膜以上的加工性能，適用 PET 薄膜的各種加工如彎曲加工、熱處理、貼合等。本開發品也被期待在提升能源利用效率及提升部材的壽命上等。目前、已經完成工廠實證製造技術確立，且也開始提供使用者的樣品提供(東レ株式会社，2018a)(東レ株式会社，2018c)。

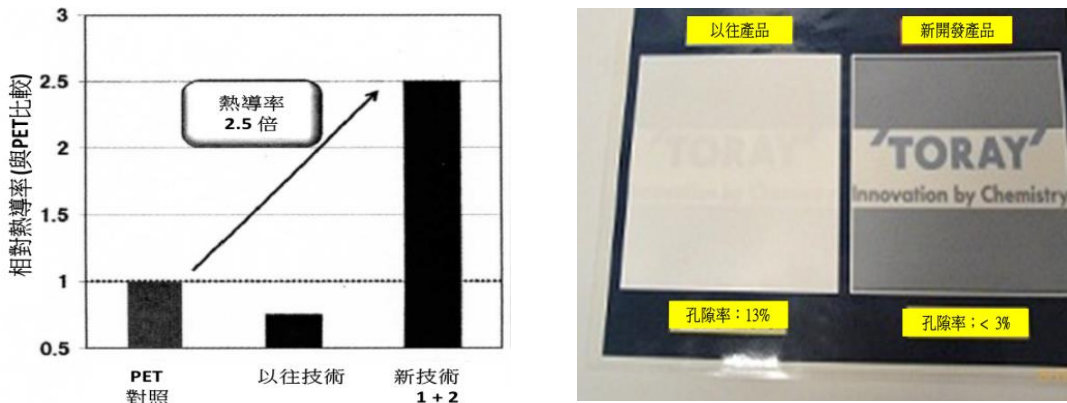


圖 3 二軸延伸薄膜的導熱率及新開發產品的外觀(右)因低孔隙率具高透明性(青山滋，2018)(東レ株式会社，2018b)

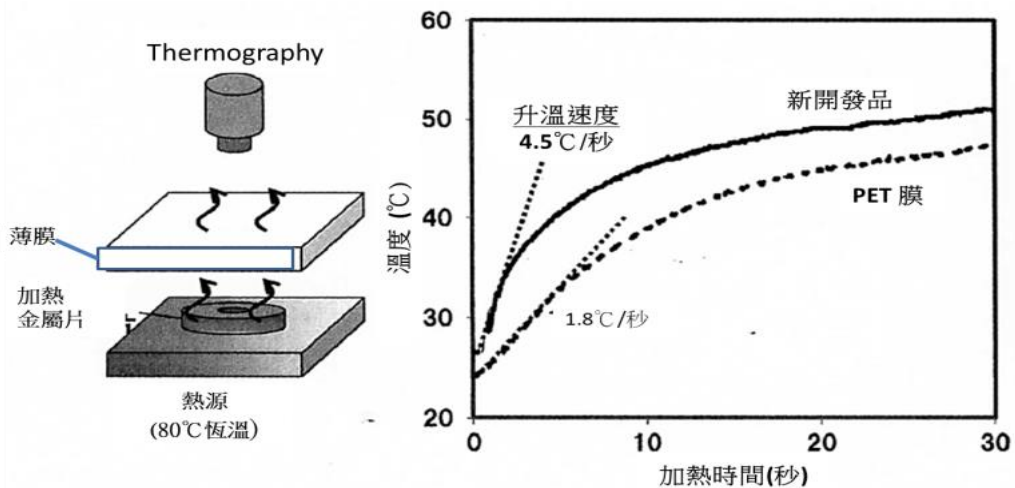


圖 4 新開發品的導熱膜性的測試效果之一例(青山滋，2018)

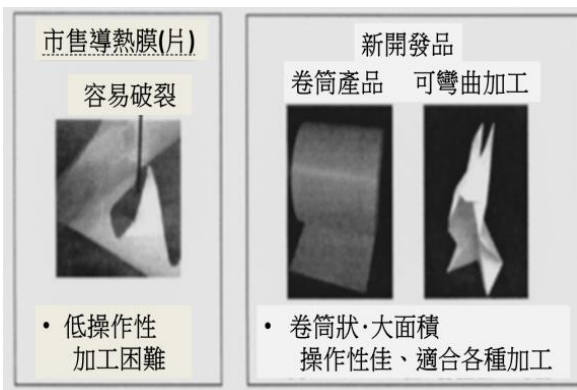


圖 5. 市售散熱片與新開發品的比較 (青山滋，2018)

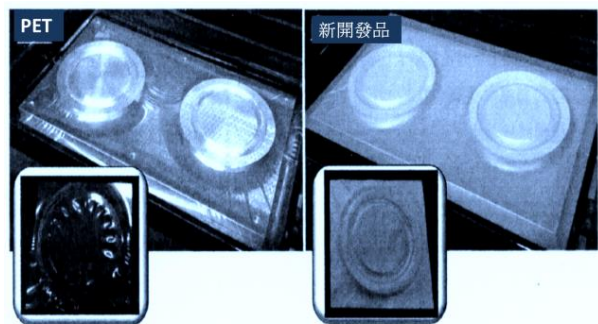


圖 6. 熱加工成型例(金屬模預熱 10 秒，成型 20 秒)(青山滋，2018)

由於市售品以卷筒的形態供應，在進行各種加工時可適用卷對卷製程(Roll to roll process)，此點較舊有的放熱片等為最大差異的特性。加工性之一例，以舊有放熱片無法實施的加熱真空成形例如圖 6 所示，成形後的外觀，舊有 PET 膜中有皺紋的發生，與此相對新開發導熱膜的成形品

具良好形狀，熱加工性也相當優異，可賦與各種形狀(青山滋，2018)。此外，如上述的公式(1)顯示的薄膜的導熱性取決於導熱率與薄膜厚度，圖 7 中顯示開發品放熱片可製造成市販品散熱片無法達到的厚度(薄度)可達到高導熱性且具高絕緣性。

四、應用性的拓展

本開發品具高導熱性且高絕緣性質，可進行與一般的 PET 薄膜導熱片同樣的操作，也可進行彎折、熱成形加工、及貼合等各種加工，上述新開發 PET 可加工性是與傳統的 PET 散熱材料(膜或片)最大的相異。活用上述特性，而可適用在電路、照明、控制設備、電池/動力設備、旋轉機、膠帶材料等各種行業。藉由適用於傳統散熱(導熱)材料難以應用的絕緣材料部材上，可期待在各種領域上的應用時的熱對策及能源利用上提高效率上有所貢獻。此外，在在各種生產製程中，如果應用於加熱工程中應用是用的工程薄膜，可期待提升加熱效率及生產效率(東レ株式会社，2018a, 2018c)。

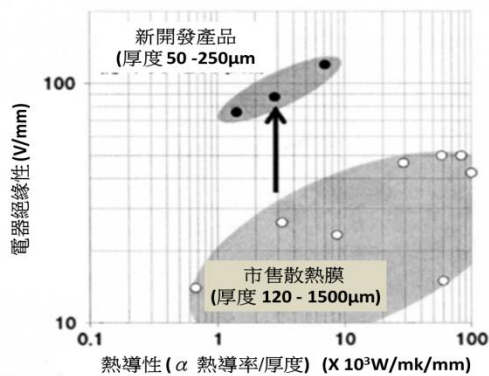


圖 7. 膜的導熱性與電氣絕緣性間的相關 (青山滋，2018)

五、參考文獻

1. 青山滋 2018 高い熱伝導性を備えた革新 PET 薄膜の開発。紙パルプ技術タイムス (8): 74-76
2. 東レ株式会社 2018a 高い導熱性を備えた革新 PET フィルムの開発について—IoT 社会、ゼロエミッション社会での各種機器のエネルギー利用効率向上などに貢献。 <http://cs2.toray.co.jp/news/toray/newsrrs01.nsf/0/8D893BD6A5E8F273492582270007C119>
3. 東レ株式会社 2018b 高い熱伝導性を備えた革新 PET フィルムの開発について。 <http://cs2.toray.co.jp/news/toray/newsrrs01.nsf/0/8D893BD6A5E8F273492582270007C119>
4. 東レ株式会社 2018c 世界最高の熱伝導率を実現した PET フィルムを開発。 <https://www.dempa.co.jp/productnews/trend/h180208/h0208.html>

*蘇裕昌 國立中興大學森林系教授

*Dr. Yu -Chang Su, Professor, Dept. of Forestry, National Chung-hsing University.