

電気自動車電池用ラミネートフィルムの引張特性に関する研究

日大生産工(院) ○永井 優希 日大生産工 前田 将克
日大生産工 鈴木 康介 日大生産工 高橋 進

1. 緒言

近年、地球温暖化が世界的な問題になっている。今後地球温暖化の進行を阻止するためには二酸化炭素などの温室効果ガス排出量を削減する必要がある。日本の二酸化炭素総排出量 10 億 4400 万トン(2020 年度)のうち、17.7%が運輸部門による排出である。そのうち、87.6%が自動車によるものであり、これは総排出量の 15.5%が自動車によるものである¹⁾。そのため、自動車の二酸化炭素排出量削減は地球温暖化対策として特に大きな効果が見込まれる。そこで、自動車業界では走行時に二酸化炭素を排出しない電気自動車の開発が進められている。

電気自動車の動力源として搭載されているリチウムイオンバッテリーは、正極、負極、電解液、セパレータから構成され、これらをまとめてセルと呼ぶ。セルの形状は、円筒型、角型、ラミネート型に分類される。バッテリーの大容量化と軽量化の需要に伴い、現在ではラミネート型セルが主流である。ラミネート型はセルの外装材にラミネートフィルムを用いてパックした構造である。外装材はプレス成形法の一つである深絞り加工によって製造される。プレス成形時には不具合として、割れやしわ等の成形不良が発生する。金型製造後に修正を重ねることはコストの増大に繋がるため、金型の設計段階で FEM 解析を用いた成形シミュレーション解析により成形不良を予測する。成形精度には材料の機械的特性が大きく影響するため、高精度なシミュレーション解析を行うためには正確な材料特性の把握が必要である。鋼板のプレス成形における材料特性の測定方法としては、二軸引張試験²⁾や平面ひずみ引張試験³⁾など様々な試験方法が提案されている。しかし、ラミネートフィルムの材料特性に関する研究はあまりされていない。また、ラミネートフィルムのプレス成形時には、角部でしわが発生することがある。これは鋼板のプレス成形では発生しないものであるため、原因の究明と対策が必要である。

本研究では、プレス成形時に発生する成形不良を FEM 解析により予測するため、より正確な材料物性の計測を目的としている。本報では引張特性に着目し、材料の異方性や引張速度による影響を検証したので報告する。

2. 試験方法

2.1 試験片材料および試験片形状

試験片材料には自動車電池用ラミネートフィルムを使用する。ラミネートフィルムは PET, Nylon, アルミニウム合金, PP の 4 層構造であり、厚さは 147 μ m である。各層の厚さは、12 μ m, 15 μ m, 40 μ m, 80 μ m である。ラミネートフィルムの断面図を Fig.1 に示す。ロール状のフィルムから幅 25mm, 長さ 120mm に切り出したものを試験片とする。ロール状フィルムの長手方向を MD (Machine Direction), 幅方向を TD (Transverse Direction) とし、各方向の試験片を作成した。試験片の寸法形状を Fig.2 に示す。試験片の端から 30mm はチャックの取り付け部分である。

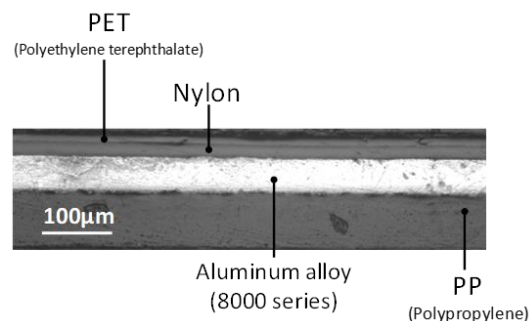


Fig.1 Cross-sectional of the laminated films

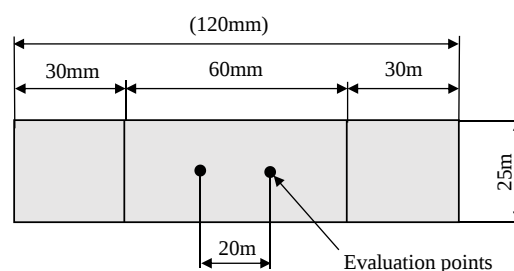


Fig.2 Shape and dimensions of specimen

2.2 試験片の乾燥

ラミネートフィルムには樹脂が用いられている。樹脂材料は吸湿性があることが知られており、樹脂に含まれる水分は材料の機械的性質に影響を及ぼす。そこで、乾燥状態と非乾燥状態での強度特性の変化を確認した。試験片を湿度 20%のドライボックス内で保持したものを乾燥状態とした。非乾燥状態の試験片は室温で保存した。

2.3 試験機

成形シミュレーションの高精度化のためには、実際の成形速度に近い速度で引張試験を行う必要がある。サーボプレス機を用いることで100mm/sでの引張試験を実現した。引張速度が1~15mm/sの低速域では万能材料試験機(島津製作所製, AG-X-100kN), 50~100mm/sの高速域ではサーボプレス機(アマダプレスシステム製, SDE-2025)を使用した。各試験機をFig.3, Fig.4に示す。



Fig.3 AG-X-100kN



Fig.4 SDE-2025

2.4 引張試験

試験機にフィルム用のチャックを取り付け、チャックに試験片を挟み、試験機のカrossヘッドを垂直方向に上昇させて引張試験を行った。このとき、試験時の荷重をロードセルで測定した。また、引張速度100mm/sの場合、サーボプレスのスライドの変位が25mmに達すると引張速度に到達するため、試験片を約35mmたわませた状態から試験を行った。試験機に試験片を取り付けた状態をFig.5、試験片をたわませた状態をFig.6に示す。



Fig. 5 Specimen mounted on the testing machine



Fig. 6 Specimen in a deflected state

2.5 ひずみ計測方法

ラミネートフィルムは伸びが約50~80%の大ひずみの材料である。一般的に、ひずみの測定にはひずみゲージが用いられる。しかし、ひずみゲージの測定可能最大ひずみは30%であるため、本研究ではひずみゲージによるひずみ測定はできない。そこで本研究では画像解析によってひずみの測定を行った。まず、試験片に油性ペンで直接評点を書く。次に高解像度高速度カメラ(nac 製, M-Cam V-1004)で評点の移動を撮影する。そして画像解析ソフト(Keyence 製, Motion Analyzer)で2点間距離を測定し、ひずみを導出した。

2.6 試験条件

試験条件をTable 1に示す。各引張速度において、試験片の切り出し方向や乾燥条件を変化させて試験を行った。また、同一条件の試験を3回実施した。

Table 1 Test conditions

Tensile speed (mm/s)	1, 5, 15, 50, 100
Directions	MD, TD
Dry conditions	Dry, Non-dry

3. 試験結果

3.1 再現性

引張試験は同一条件の試験を3回実施した。非乾燥状態における引張速度15mm/s, TDの応力ひずみ線図をFig.7に示す。Fig.7より、各試験結果が一致していることが確認できた。

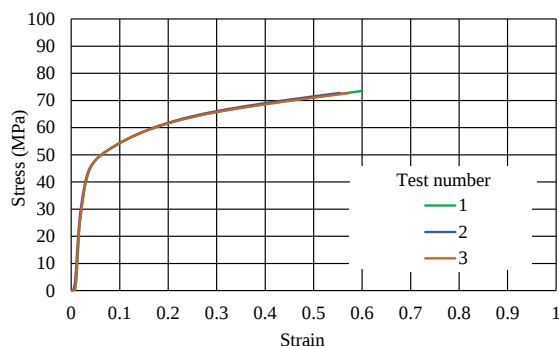


Fig. 7 Stress-strain curves at tensile speed 15 mm/s with TD direction and non-dried

3.2 各試験機による試験結果の比較

本研究では試験速度によって試験機が異なる。万能材料試験機の最高速度、サーボプレス機の最低速度である15mm/sでの試験結果を比較した。各試験機で行った引張速度15mm/sの応力ひずみ線図をFig.8に示す。

す。Fig.8 より、各試験機の試験結果が一致していることが確認できた。

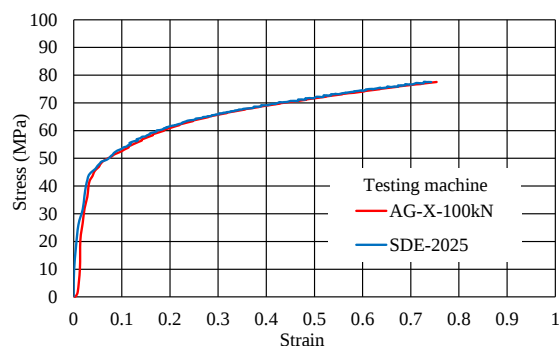


Fig. 8 Stress-strain curves using different testing machine at tensile speed 15 mm/s with TD direction and non-dried

3.3 異方性

試験片の MD と TD で試験を行い、異方性の確認をした。引張速度 15mm/s における各切り出し方向の応力ひずみ線図を Fig.9 に示す。MD は一定の応力まで上昇後、応力の増加は僅かである。TD は伸びとともに応力が増加する。各切り出し方向で異なる挙動を示したことから、ラミネートフィルムは異方性材料であることがわかった。

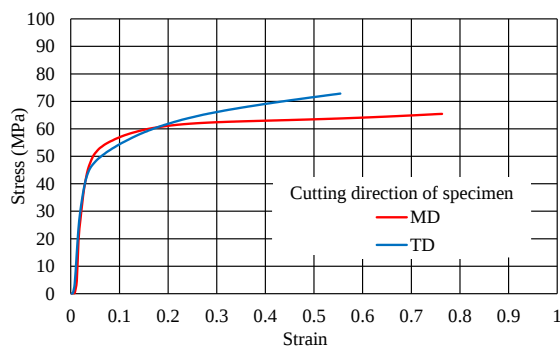


Fig. 9 Stress-strain curves at tensile speed 15 mm/s in each cutting direction

3.4 乾燥状態による応力の変化

樹脂材料の吸湿性による強度特性の変化を確認するため、乾燥と非乾燥のそれぞれで試験を行った。乾燥条件を変化させて行った試験結果について、MD を Fig.10, TD を Fig.11 に示す。引張速度は両条件ともに 15mm/s である。試験結果より、乾燥状態の方が応力が高いことがわかった。ひずみが 0.2 のときの乾燥状態の応力は、MD が 2.6%増加、TD が 3.6%増加した。

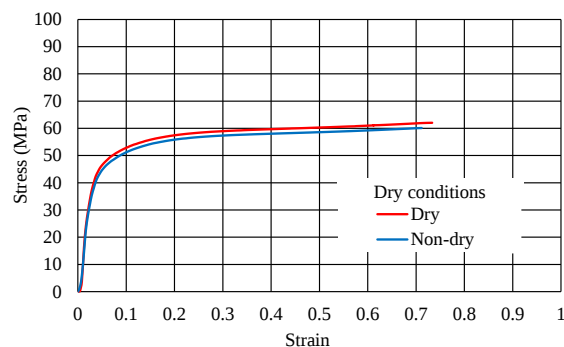


Fig. 10 Stress-strain curves at tensile speed at 15 mm/s for each dry condition in MD direction

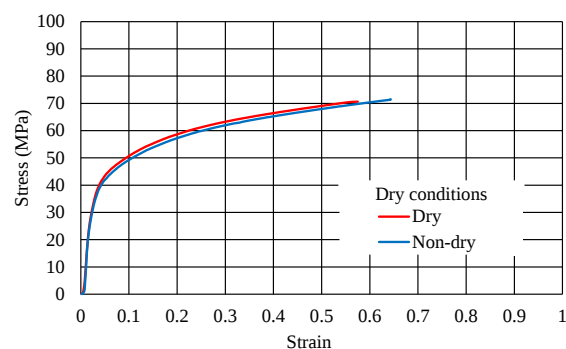


Fig. 11 Stress-strain curves at tensile speed at 15 mm/s for each dry condition in TD direction

3.5 速度依存性

引張試験は 1~100mm/s の速度条件で行った。MD と TD の応力ひずみ線図を Fig.12, Fig.13 に示す。両条件ともに非乾燥状態での試験である。各切り出し方向で引張速度の増加に伴い、応力が増加することがわかった。プレス成形のパンチ速度は成形中に変化することから、成形シミュレーションの高精度化には引張速度を変化させた応力ひずみ線図を導入することが有効である。

MD, TD における、ひずみが 0.2 および 0.4 のときの引張速度と応力の関係を Fig.14, Fig.15 に示す。MD における応力は 50mm/s を超えると増加しない。TD においても 50mm/s を超えると応力の増加は僅かである。また、ひずみが 0.2 から 0.4 にかけての応力の増加および乾燥状態における応力の増加は TD の方が大きい。

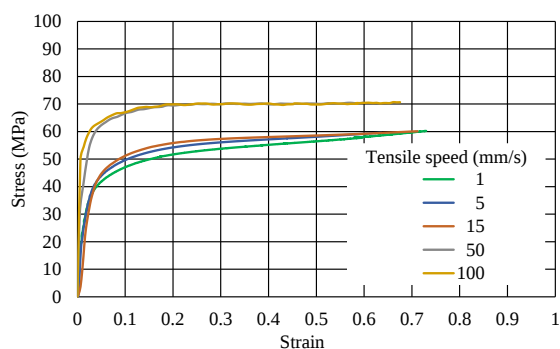


Fig. 12 Stress-strain curves at different speeds in MD direction

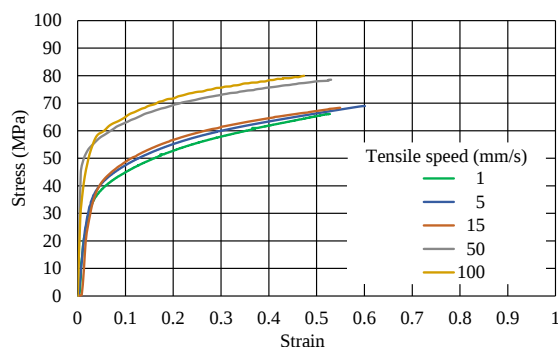


Fig. 13 Stress-strain curves at different speeds in TD direction

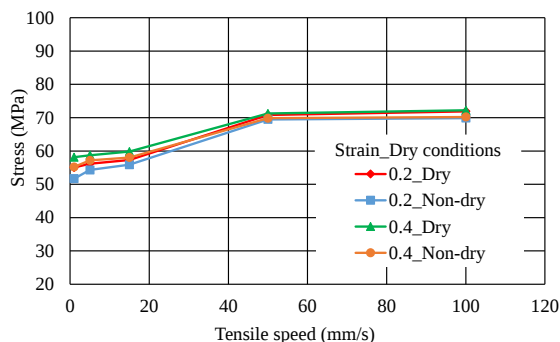


Fig. 14 Relationship between stress at each strain (0.2 and 0.4) and tensile speed in MD direction

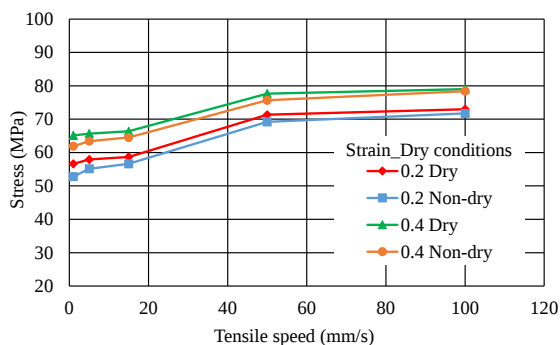


Fig. 15 Relationship between stress at each strain (0.2 and 0.4) and tensile speed in TD direction

4. 結言

ラミネートフィルムのプレス成形の FEM 解析で必要な特性を得るために引張試験を行い、以下の結論を得た。

- 1) ラミネートフィルムは異方性材料であった。
- 2) ラミネートフィルムは乾燥状態で強度が上昇した。
- 3) ラミネートフィルムの引張特性は速度依存性があることがわかった。
- 4) 高速引張試験により詳細な材料特性を得られた。これにより、シミュレーション解析の高精度化が期待できる。

謝辞

本研究で有益なご助言を頂いた株式会社アマダプレスシステムの皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省，運輸部門における二酸化炭素排出量，(2022)，
(https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sos ei_environment_tk_000007.html)
- 2) 桑原利彦・池田聡，十字形試験片を用いた 2 軸引張試験による冷間圧延鋼板の等塑性仕事面の測定と定式，塑性と加工，40-457 (1999)，145-149
- 3) 桑原利彦・池田聡，平面ひずみ引張を受ける鋼板の加工効果特性の測定と解析，鉄と鋼，88-6 (2002)，334-339