

ポリマーフィルムの相対湿度制御下の機械特性



はじめに

高分子は粘弾性材料であり、その機械的応答は時間や環境条件によって変化する可能性があります。持続的な荷重が加わると、クリープによって徐々に変形することがあり、その変形速度は材料特性、曝露時間、温度、湿度などの要因によって影響を受けます。環境湿度が変化すると、高分子材料の機械的挙動も変化する可能性があります。制御された相対湿度条件下で高分子材料の硬度やクリープを測定することは、湿気への曝露がその性能にどのような影響を与えるかを定量的に評価する方法となります。

■相対湿度制御下での高分子の機械的試験の重要性

ポリマーの機械的特性は、周囲の湿度が高まるにつれて変化する可能性があります。水分を吸収すると、ポリマーは、クリープの加速や荷重下での変形挙動の変化など、メカノ・ソフティブ効果（機械的負荷と吸放湿による変形、破壊）を示すことがあります。したがって、信頼性の高い高分子の特性評価を行うには、単一の環境条件下での測定だけでは不十分です。湿度制御されたナノインデンテーション試験では、試料とインデンターの両方を均一に制御された環境下に保ちながら、硬度やクリープを測定することができます。ナノビア機械試験機は、圧子先端と試料表面の周囲に密閉された湿度制御チャンバーを装備することができ、試験中を通じて一定の相対湿度を維持します。これにより、湿度勾配に起因する測定値のドリフトを最小限に抑え、湿度に依存する機械的挙動を定量的に評価することが可能になります。

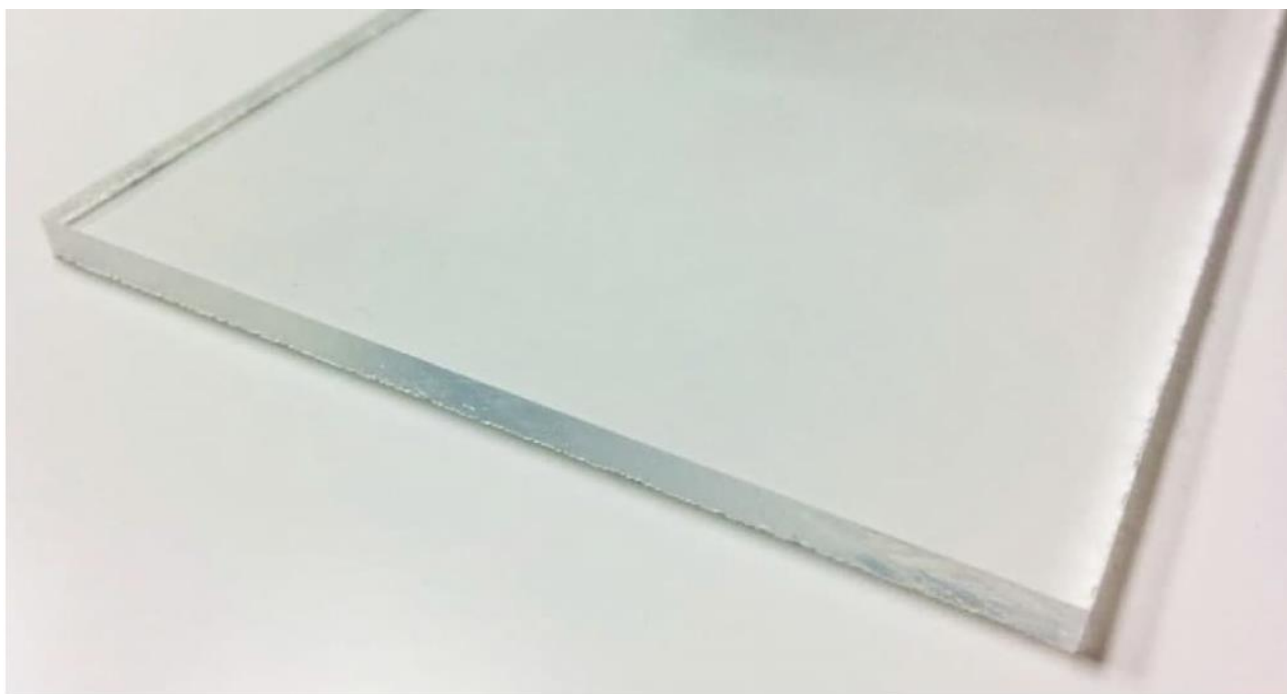
研究の目的

本研究の目的は、ナノインデンテーション法を用いて、制御された相対湿度がポリマーフィルムの硬度およびクリープ挙動にどのような影響を与えるかを評価することである。ポリマーフィルムは、試料とインデンターの両方を均一な湿度環境に囲まれた隔離された環境下で試験され、これにより、制御された湿度条件下での機械的応答を測定することが可能となった。



測定条件

ある高分子フィルムについて、相対湿度25%、35%、45%、55%、65%、75%の条件下でナノインデンテーション試験を行った。試験中は、試料とインデンターの両方を密閉されたエンクロージャー内に収容し、内部の湿度を均一に制御した。



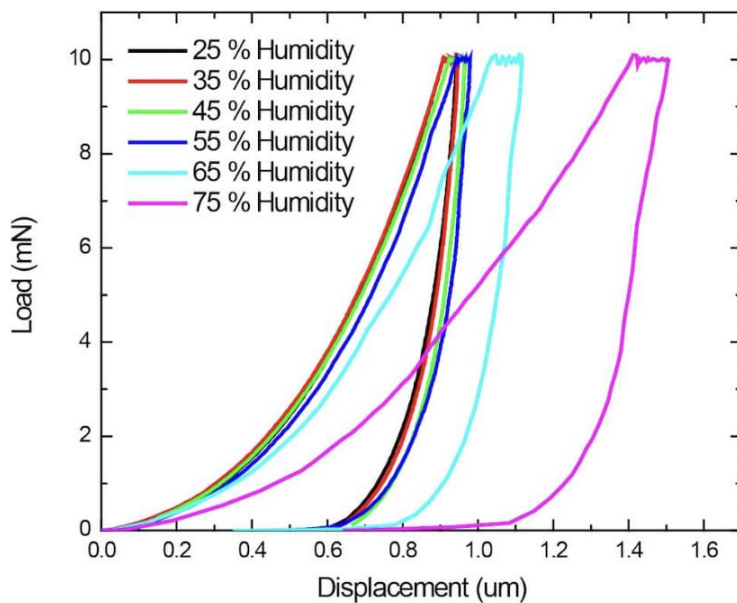
最大荷重10 mNのバーコピッチ型ダイヤモンド・インデンターを使用した。荷重の印加および除去は20 mN/minの速度で行い、最大荷重状態で10秒間保持した際の圧痕深さの変化からクリープを測定した。硬度は、ASTM E2546およびオリバー・ファー法を用いて算出した。試験条件は以下の通りである。

■ インデンター圧痕試験パラメータ

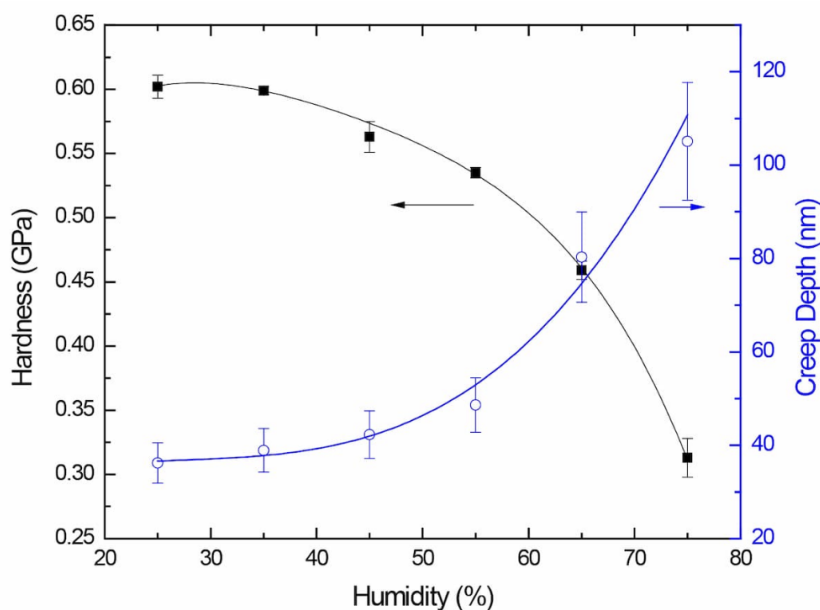
試験パラメーター	値
相対湿度(%)	25, 35, 45, 55, 65, 75
最大負荷	10mN
負荷上昇率	20mN/min.
負荷下降率	20mN/min.
クリープ時間	10s
計算方法	ASTM E-2546 及び オリバー・ファー法
インデンター形状	バーコピッチ・ダイヤモンド

結果と考察

荷重-変位曲線からは、相対湿度の上昇に伴い貫入深さが徐々に増加していることが示されており、これは、同じ荷重が加えられた場合でも、ポリマーフィルムが変形しやすくなっていることを示唆している。相対湿度25%から55%の範囲では、硬度は約0.60 GPaから0.54 GPaへと徐々に低下し、クリープ深さは36 nmから48 nmへと増加した。より高い湿度では、これらの変化はさらに顕著になった。相対湿度65%では硬度は0.46 GPaに、75%では0.31 GPaに低下し、クリープ深さはそれぞれ80 nmおよび105 nmに増加した。元の研究では、高湿度下でのこの強い反応は、ポリマーフィルムの吸湿と膨潤に起因するとされている。同研究では、相対湿度（RH）55%から65%の間の範囲が、膨潤が顕著になる領域であると特定しており、これは圧痕試験中に観察されたクリープの急激な増加と一致している。これらの結果は、湿気の多い環境で使用されるポリマーを評価する際、湿度が重要な試験変数となり得る理由を示している。制御された湿度レベル下で硬度とクリープの両方を測定することで、環境条件の変化に伴い材料が機械的にどのように反応するかをより包括的に把握することができる。



相対湿度25%から75%の範囲におけるナノインデンテーションの荷重-変位曲線



相対湿度が25%から75%に上昇するにつれて、クリープ深さが増加する一方で、ポリマーの硬度は低下した。

おわりに

湿度制御下でのナノインデンテーション試験により、相対湿度の上昇に伴い、ポリマーフィルムの機械的応答に明らかな変化が見られた。試験範囲である相対湿度25%～75%において、硬度は徐々に低下する一方で、クリープは増加した。相対湿度65%以上では、最大荷重での保持中にポリマーのクリープ変形が著しく大きくなり、これは高湿度下で観察された硬度の急激な低下と一致していた。ナノビア・メカニカル試験機は、試料とインデンターの両方を均一な相対湿度を持つ隔離された環境内に維持することで、湿度勾配によるドリフトの影響を最小限に抑えながら硬度とクリープを測定することを可能にします。これにより、制御された環境条件下で、ポリマー材料の湿度依存的な機械的挙動を定量的に評価することが可能になります。



〒274-0812 千葉県船橋市三咲7-22-7
TEL:047-449-2961 FAX:047-449-2926