

貫通孔径測定装置

キーワード：多孔質、貫通孔、孔径、毛細管流動法、気液置換法、空気圧、流量

はじめに

貫通孔を有するシート状の多孔質材料は、流体（気体あるいは液体）中の粒子を濾過する各種のフィルターや、透湿防水フィルム、電池用セパレーターなどとして、様々な産業分野で利用されています。それらの研究開発や品質管理においては、孔の構造や形態を適切に評価する必要があります。特に、貫通孔の孔径は、シート状多孔質材料としての濾過性能や流体透過性に大きく影響するため、極めて重要です。

本稿では、当研究所が 2025 年 2 月に導入した貫通孔径測定装置（Aptco Technologies 社製 POROLUX Revo；図 1）について、測定原理と装置の仕様を紹介します。

測定原理

本装置では、毛細管流動法（Capillary Flow Porometry）あるいは気液置換法（Gas-Liquid

Displacement Porometry）と呼ばれる方法で、貫通孔の孔径が測定されます。以下では、本手法による貫通孔径測定の原理を、簡単に説明します。

(1) 円管状貫通孔における孔径と空気圧の関係

まず、シート内に、厚さ方向に貫通した円管状の孔（円管状貫通孔）が 1 つ存在していると仮定し、その貫通孔内に均質な試験用液体（以下、試液と称します）が満たされているとします。ここで、シートの上面に空気圧を作用させ、空気圧を徐々に増加させていくと、やがて空気は貫通孔内の試液を押し出し、シートの下面側に流出します（図 2）。この時、孔の直径（ $D \mu\text{m}$ ）は、作用させた空気圧（ $P \text{ kPa}$ ）に反比例し、試液の表面張力（ $\gamma \text{ N}\cdot\text{m}$ ）に比例します（ $D \propto \gamma/P$ ）。よって、表面張力が既知の試液を用い、空気が流れ始める瞬間の空気圧を測定すると、貫通孔の直径を求めることができます。

(2) 直径の異なる円管状貫通孔が複数ある場合

次に、シート内に、直径の異なる円管状貫通孔が複数ある場合の単純例として、直径が $D_1 \mu\text{m}$ 、 $D_2 \mu\text{m}$ 、および $D_3 \mu\text{m}$ （ただし、 $D_1 > D_2 > D_3$ ）の孔が 1 つずつ存在するシートを想定します。このシートの 3 つの孔に、(1)と同様に試液を満たし、シート上面に作用させる空気圧を徐々に増加させると、図 3 に示すような過程をたどります。すなわち、空気圧が $P_{C1} \text{ kPa}$ に達した瞬間（Step 2）に、まず直径 $D_1 \mu\text{m}$ の孔から試液が押し出され、空気が流れ始めます。さらに空気圧を増加させ続けると、空気圧が $P_{C2} \text{ kPa}$ に達した時点（Step 4）あるいは $P_{C3} \text{ kPa}$ に達した時点（Step 6）で、それぞれ、直径 $D_2 \mu\text{m}$ あるいは $D_3 \mu\text{m}$ の孔からも、空気が流れ始めます。



図 1 貫通孔径測定装置の外観



図 2 円管状貫通孔からの空気の流出

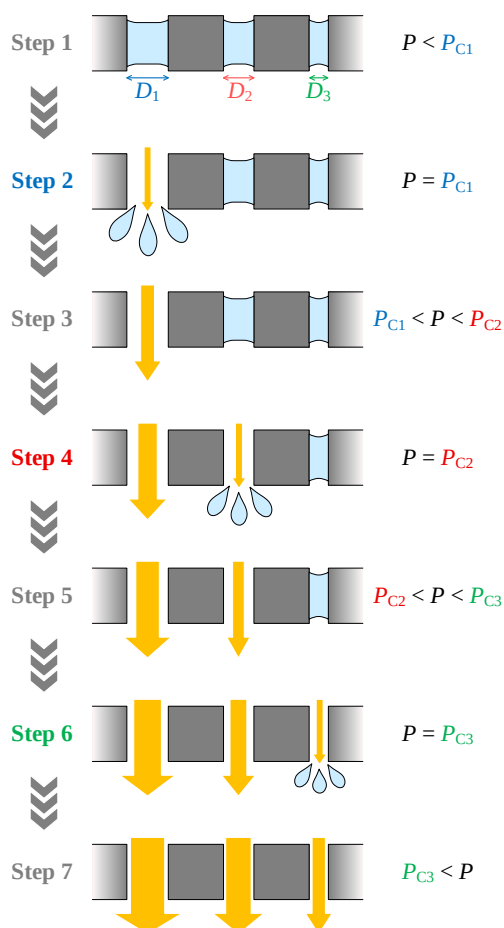


図3 直径の異なる3つの円管状貫通孔における空気の流れ過程

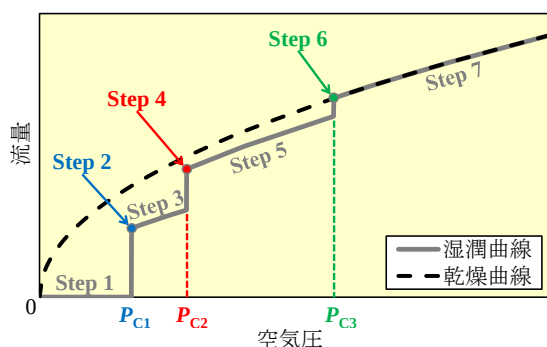


図4 空気圧と流量の関係(模式図)

(3) 空気圧と流量の関係

図3に示した過程において、シート全体を透過する空気の流量を測定し、空気圧に対してプロットすると、図4の実線のような関係(湿潤曲線)が得られます。一方、各孔に試液が満たされていない状態(乾燥状態)で、別途、空気圧を増加させながら空気の流量を測定すると、図4の破線のように、滑らかな曲線(乾燥曲線)が描かれます。

※ テクニカルシートの内容の一部または全部を転載する場合には、前もって大阪技術研に連絡の上、了解を得てください。

発行日 2026年7月1日

作成者 高分子機能材料研究部 生活環境材料研究室 西村 正樹、室谷 峻介

ここで、前述の通り、貫通孔内の試液が押し出され、空気が流れ始める際の空気圧は、その貫通孔の直径に反比例します。よって、図4で初めに空気が流れ始めるStep2における空気圧(P_{C1} kPa)から、シート内に存在する貫通孔の最大孔径(D_1 μm)を算出することができます。

また、Step6およびStep7の空気圧領域においては、湿潤曲線と乾燥曲線が重なります。この空気圧領域では、湿潤曲線においても、シート内に存在する全ての孔から試液が押し出され、実質的に乾燥状態となっているためです。したがって、Step6の空気圧(P_{C3} kPa)から、シート内に存在する貫通孔の最小孔径(D_3 μm)を求めることができます。

装置の仕様

当所保有の貫通孔径測定装置の仕様を表1に示します。

表1 貫通孔径測定装置の仕様

試験片 サイズ	直径	13 mm	25 mm	47 mm
	厚さ	最大 3 mm	最大 10 mm	最大 3 mm
試液		GALPORE もしくは 水		
対象孔径範囲		数十 nm ~ 数十 μm (試液およびその他の測定条件に依る)		
最大空気圧		3.0 MPa		
最大空気流量		200 L/min		
付属品		液体透過試験ユニット		

本装置では、直径が13、25、もしくは47 mmの円形の試験片(他サイズは対応不可)を用いて、測定を行います。また、直径が13および47 mmの場合は厚さ3 mmまで、直径が25 mmの場合は厚さ10 mmまで、の試験片を使用可能です。

試液に関しては、難揮発性で、試験片に対する濡れ性が良好であることが肝要であり、本装置では、パーフルオロポリエーテル系の GALPORE (Aptco Technologies 社製)もしくは水のいずれかを使用します。

おわりに

本装置を用いて貫通孔径を測定する際には、試験片の素材や通気性、対象孔径範囲などに応じて、試験片のサイズや試液の種類、さらには空気圧領域を適切に選定する必要があり、そのために、複数回の予備測定を実施する場合があります。

本装置のご利用については、下記の担当職員までお気軽にお問い合わせください。