

濃厚ポリマーブラシ・ボトルブラシポリマーの 低摩擦シールへの適用検討

Application study of concentrated polymer brush and bottlebrush polymer
to low friction seal

NOK（正）*青木 岳也 NOK（正）細沼 慎正 NOK（正）佐藤 博幸

イーグル工業（正）福原 拓人 京大（正）辻井 敬亘

Takeya Aoki*, Norimasa Hosonuma*, Hiroyuki Sato*, Takuto Fukuhara**, Yoshinobu Tsujii***

*NOK Corporation, **Eagle Industry Co., Ltd., ***Kyoto University

1. はじめに

動的シールは流体の漏洩や外部からの異物侵入の防止のため用いられる。環境保護や省エネルギーの観点から、動的シールには密封性向上と摩擦損失低減が要求され、これに応じたしゅう動面設計や材料開発が進められている¹⁾²⁾。

基材表面へ高密度にグラフトされ、良溶媒中において表面と垂直に伸長した高分子鎖が形成する濃厚ポリマーブラシ（CPB）が、優れた摩擦特性を示すしゅう動材料として注目されている³⁾。CPB はミクロ圧縮試験においてブラシ構造に由来する高い反発特性を示し、リングオンリング試験における低摩擦化やシール性能の向上が見られている⁴⁾⁵⁾。本発表では、CPB をはじめとした、ブラシ構造を有するポリマー材料のシール面への適用条件を検討するため、サンプルの事前暴露温度および初期しゅう動がトルク・シール性能に及ぼす影響を調べた結果を報告する。

2. 実験

実験にはポリメタクリル酸メチルの CPB に加え、主鎖へ高密度にポリマーがグラフトした構造を有するボトルブラシポリマー（BBP）を用いた。試験機の構成と試験フロー、条件をそれぞれ Fig. 1, 2, Table 1 に示す。回転側リング A の接触面へ CPB 処理または BBP スピンコート・熱架橋を行い、乾燥膜厚 0.8 μ m の CPB リングサンプルおよび 1.0 μ m の BBP リングサンプルを準備した。これをイオン液体 MEMP-TFSI へ浸漬し表層を膨潤させたのち、未処理の固定側リング B と組み合わせて気体密封試験およびトルク試験を行った。シール使用環境を想定し、CPB と BBP それぞれについて暴露温度の影響を調べるため、膨潤温度を変化させた。BBP についてはトルク試験と別に初期しゅう動を与え、気体密封試験はその前後両方で実施した。

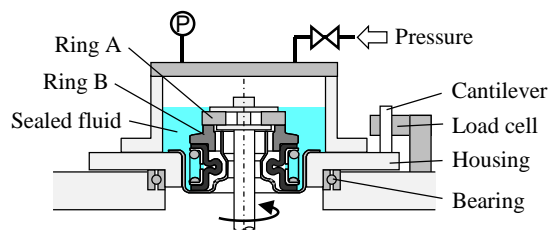


Fig. 1 Schematic of test apparatus

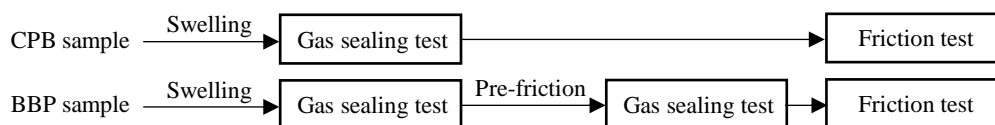


Fig. 2 Testing flow

Table 1 Test conditions for swelling, sealing and friction

	Swelling	Gas sealing test	Pre-friction	Friction test
Swelling liquid	MEMP-TFSI	MEMP-TFSI	MEMP-TFSI	MEMP-TFSI
Sealed fluid	-	Air	MEMP-TFSI	MEMP-TFSI
Ambient temperature	25-200°C	25°C	25°C	25°C
Air pressure	-	0.1 MPa(G)	0 MPa(G)	0 MPa(G)
Contact load	-	25 N	25 N	25 N
Shaft rotation speed	-	0 rpm	50 rpm → 500 rpm	10–2000 rpm
Duration time	72 h	2 min	15 min → 5 min	2 min

3. 結果・考察

CPB の結果を Fig. 3 に示す。(a)気体密封試験における漏れ量は、膨潤温度が 150°C 以下では小さく、180°C 以上になると急激に増大した。本試験に用いた CPB はおよそ 200°C 環境に保持するとわずかに分解が進むことが確認されており、接触面内におけるブラシ密度や分布が変化することで気体シール性が低下したと考えられる。これに対して(b)トルク試験から得られたストライバック線図では、特に低速度域において膨潤温度が上昇するに伴い摩擦係数が低下する傾向を示し、200°C では最も高い摩擦係数を示した。未処理の結果と比較すると、いずれも CPB の介在によって流体

潤滑作用が低速度域まで拡大し、摩擦係数が低下している。用いたサンプルはいずれも平衡膨潤状態にあると考えられるが、荷重を受ける表層の局所領域におけるブラシ濃度が変化した結果、摩擦値が変動したと推察する。

BBP の結果を Fig. 4 に示す。(a) 気体密封試験における漏れ量は、初期しゅう動前・膨潤温度 25°C の場合のみ大きく、150、200°C では小さかった。BBP は架橋膜ゆえ、スピンコート後に膨潤させると膜厚分布が CPB と比べて不均一になりやすいことや、熱分解によるポリマー鎖の脱離が生じにくいことに起因すると考えられる。一方、初期しゅう動後のサンプルは気体漏れ量が小さく、せん断を与えることで膜が均されることが示唆された。この条件において気体密封性および(b)トルク試験における摩擦係数への膨潤温度の影響は小さかった。CPB および BBP のいずれも、膨潤したブラシ表層の密度や担持する液量の局所的な変化がある場合にシール性やトルクへ影響すると考えられ⁶⁾、ブラシ層の膨潤度分布を把握することが使用環境を決定するために重要であると考えられる。

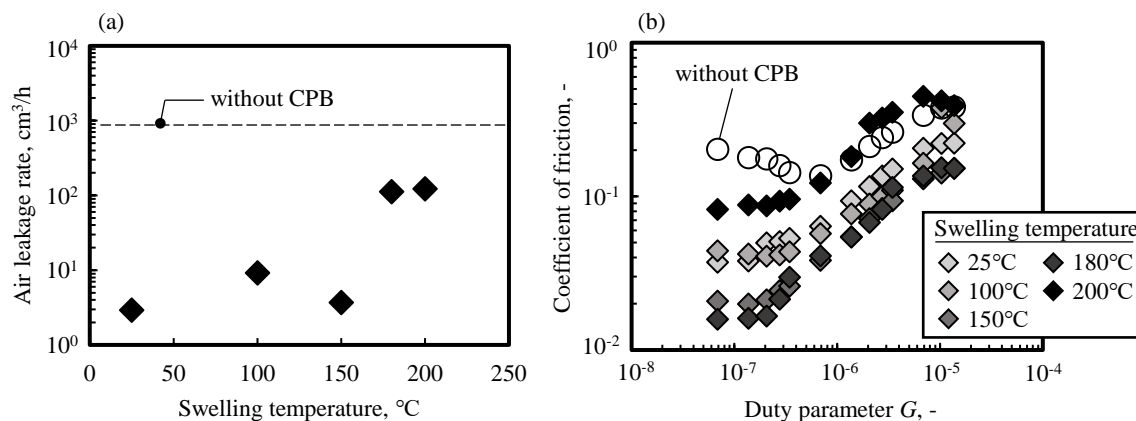


Fig. 3 Results for (a) gas sealing test and (b) friction test of face seals with CPB

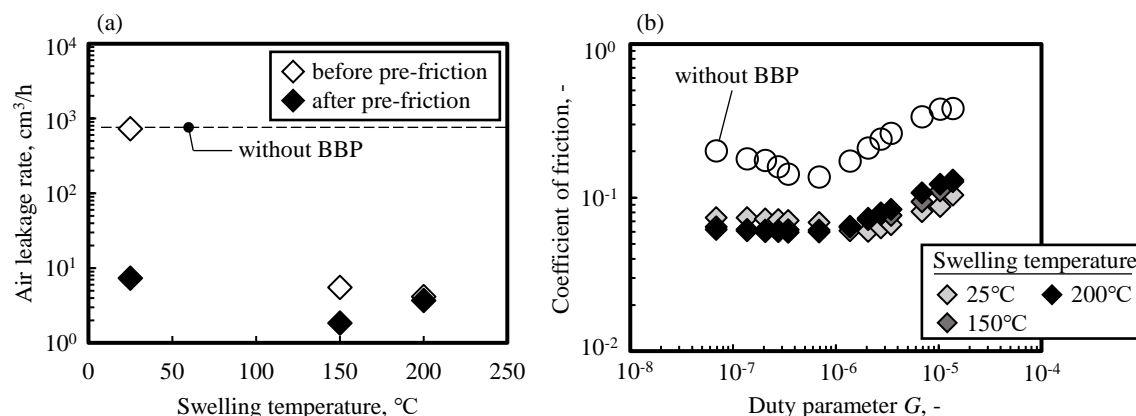


Fig. 4 Results for (a) gas sealing test and (b) friction test of face seals with BBP

4. まとめ

CPB および BBP をリングオンリング接触面に介在させてトルク試験・シール試験を実施した。CPB はシール性の良好な膨潤温度範囲において低トルクを維持し、特に低速度域ではトルクが大きく低減した。BBP は初期しゅう動によりシール性が良化、トルクが低減した。ブラシ層の膨潤度分布が変化するとトルク値・シール性能へ強く影響すると考えられ、使用環境においてこれを把握することがシールへの適用に向けた今後の課題である。

文献

- 1) 水田：自動車向け回転軸用シールの摩擦低減技術の最新動向。トライボロジスト, 62, 4 (2017) 273.
- 2) 沼田：オイルシールの低摩擦化技術動向。トライボロジスト, 65, 6 (2020) 349.
- 3) 辻井：濃厚ポリマーブラシとトライボロジー。繊維学会誌, 64, 5 (2008) 146.
- 4) S. Yamamoto, M. Ejaz, Y. Tsujii, M. Matsumoto & T. Fukuda: Surface Interaction Forces of Well-Defined, High-Density Polymer Brushes Studied by Atomic Force Microscopy. 2. Effect of Graft Density, Macromolecules, 33, 15 (2000) 5608.
- 5) 青木, 細沼, 佐藤, 福原, 辻井：濃厚ポリマーブラシを用いた低摩擦シールの開発。トライボロジー会議 2021 秋 松江 予稿集 (2021) 36.
- 6) H. Eguchi, et al.: Analysis of Lubrication Properties of Concentrated Polymer Brushes by Means of Simultaneous Optical Interferometry. ITC Sendai 2019, Sendai, 2019/9/17; H. Eguchi, et al., to be submitted.