

高せん断血液流れにおける壁面血栓形成評価とその予測

Evaluations of thrombus formation on the wall in shear blood flows and their predictions

○ 玉川雅章 (九工大) Yi Yingming (九工大) Shi Weiwei (九工大)

吉川貴則 (九工大) 平山千春 (九工大)

Masaaki TAMAGAWA, Kyushu Institute of Technology
 Yingming YI, Kyushu Institute of Technology
 Weiwei SHI, Kyushu Institute of Technology
 Takanori YOSHIKAWA, Kyushu Institute of Technology
 Chiharu HIRAYAMA, Kyushu Institute of Technology

Abstract: This paper describes visualization of thrombus formation process on wall surface of the tube. The aim is to investigate the effects of shear stress or shear rate, especially constant shear rate using Couette flows, on the thrombus formation. In this investigation, by visualization of the thrombus formation in blood plasma flow, it was found that the flow rate and shear rate has large effects of the thrombus formation rate. The thrombus formation rate in the quette flow was obtained by special double cylindrical test rig. It was found that higher shear rate makes large thrombus formation rate by comparing share rate 170 (1/s) and 500 (1/s). It was also found that the profile change suddenly when the shear rate is high.

Key Words: Thrombus formation, Shear flow, Couette Flow

1. はじめに

近年、遠心血液ポンプをはじめとする人工臓器の開発が盛んに行われているが、その開発において血栓が大きな問題となっており、医用流体機器の代表である人工臓器やステントの開発にあたり血栓形成の予測法の確立が急務となっている。これまで行ってきた CFD による血栓形成予測モデル⁽¹⁾では、凝集や固着のパラメータが必要となっており、これらのパラメータの同定のため、血栓形成のマクロ的な挙動の解明、すなわち血栓形成の可視化が必要となっている。本研究で目的とするのは、各種のせん断流れ場での人工壁面での血栓の付着の観察を行い、付着箇所やせん断速度場との相関性を調べ、流動機器の最適設計に役立てることである。

これまで、オリフィス管内流れでの壁面付着血栓の成長速度をレーザーシート光により可視化し、そのせん断速度の関係について調べてきたが⁽²⁾、本報では、これまでの結果に加えて、流れ場が一定のせん断速度を生成できるクエット流れを用いた血栓生成速度のせん断速度依存性などについて調べることにする。

2. 血栓の可視化実験と血栓形成評価

2.1 血栓の可視化実験装置

これまでの実験と同様にクエット流れ (Fig.1) での血栓形成の可視化を行った。内径 20 [mm] のアクリル製のケーシング

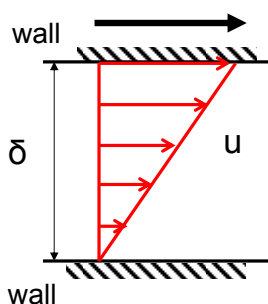
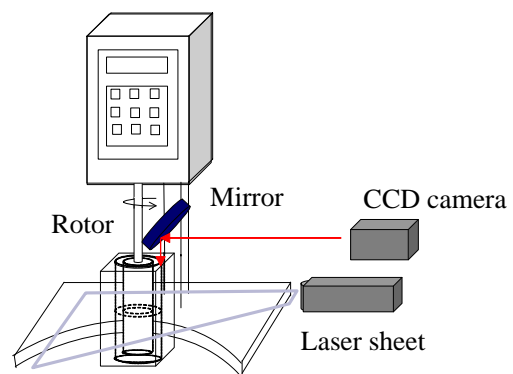
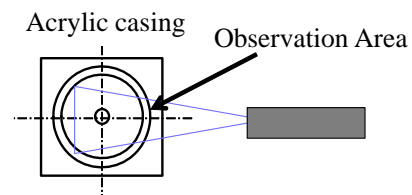


Fig.1 Typical Couette flow and constant shear rate

に、外径 18.8 [mm] のアクリル性ローターを挿入した内筒回転型の流路幅 0.6 [mm] の 2 重円筒でクエット流れを作成した (Fig.2) . ローターは攪拌器 (IKA 社製 EUROSTAR20 digital) を用いた。血栓可視化観察の方法については、これまでのオリフィス内での観察と同様にレーザーシートを流路に平行な面で入光し、ミラーを介して、上部から高速度 CCD カメラを用いて二重円筒で形成される流路流れを撮影する。この画像情報から散乱光の情報を輝度として数値化し、時間変化をとらえる。なお、本稿では、表面に



(a) Schematic of apparatus



(b) Detailed observation part

Fig.2 Optical system for observing the thrombus formation on Couette flow for perpendicular to the flow

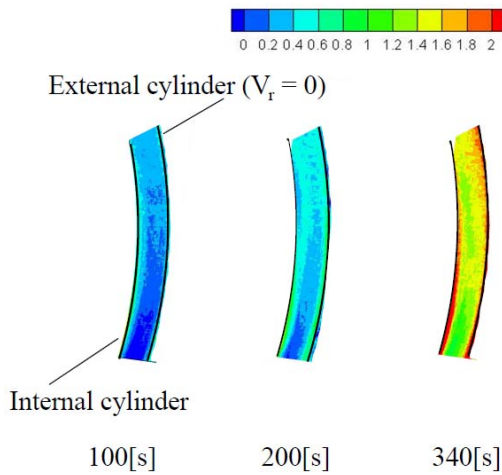


Fig.3 Brightness contour in the gap between rotor and external cylinder in case of 100 rpm. (Left side is rotor)

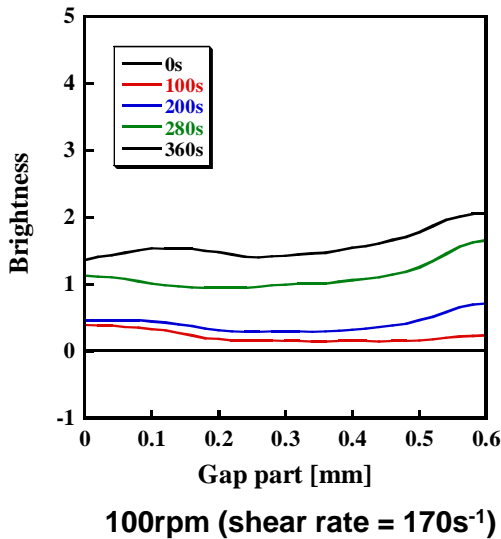


Fig.4 Brightness profile between the gap in case of 100 rpm (shear rate =170 s-1), Left side is rotor

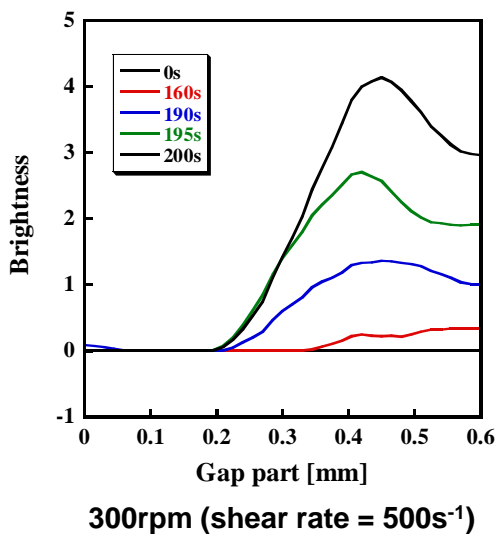


Fig.5 Brightness profile between the gap in case of 500 rpm (shear rate =300 s-1), Left side is rotor

親水性コーティングを行った。なお、観察のタイミングについては、一定時間の後、固着過程を観察する。本装置は、コーティングによって壁での血栓吸着力を変化させて、血液流動機器の管内の壁面を模擬することができるようになっている。

2.2 血栓形成観察と形成速度評価

Fig. 3に 100rpmの2重円筒のクエット流れの流路での流路に沿った血栓の形成過程として輝度の等高線図を示す。ここでは内筒が回転している。この図から、時間進行とともに外筒や内筒から輝度が上昇していることがわかる。また、Fig. 4, Fig. 5には、100rpmおよび500rpmでの流路での輝度分布を、作用時間をパラメータとして示す。この分布図から、回転速度が大きくなると、したがって、せん断速度が高くなると、分布の勾配が大きく、急激に血栓が形成していることがわかる。

次に、これらのせん断速度での血栓形成率の比較を行う。ここでは、紙面の関係上、その平均輝度履歴は示さないが、それぞれの血栓生成面積 S の時間履歴を用いて、血栓形成の速度を定量的に捉えるため、これまでの輝度変化の初期勾配と同様に、血栓生成面積の勾配の最大値をそれぞれの血栓生成速度 R_s と定義する。

$$R_s = (dS / dt)_{max} \tag{1}$$

今回観察された血栓についての壁面に付着した表面での成長について流量を変化させて調べた。Fig. 6は、100rpm(170 [1/s])と 300rpm(500 [1/s])のせん断速度における典型的なクエット流れの血栓形成分布での血栓形成速度 R_s の比較を示したものである。この結果から、高回転、したがって、高せん断速度になると血栓形成速度もこれまでのオリフィス流れでの結果⁽²⁾と同様にその値が大きくなることがわかる。

3. まとめ

本研究では、血栓形成速度のせん断速度の依存関係を得ることができた。また、クエット流れの装置を開発し、これを用いて、オリフィス流れの場合と同様に形成速度のせん断速度依存関係を得た。今後は、CFD データとの比較・分析から、より精度の高い血栓成長の予測精度の向上を図る予定である。

参考文献

- (1) Masaaki TAMAGAWA, Hiroaki KANEDA, Sho NAGAHAMA, Miki HIRAMOTO, Artificial Organs, ,Vol.33,No.8, pp.604-610,2009
- (2) 玉川雅章, 元岡亮輔, LIFE2014 講演論文集

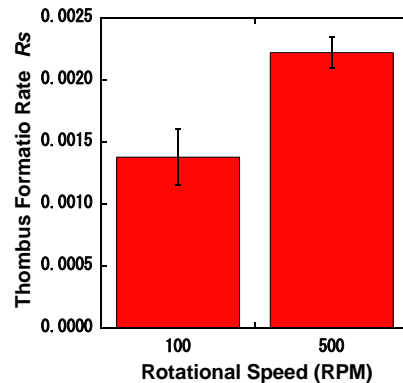


Fig.6 Comparison of thrombus formation rate between 100 rpm and 500 rpm