

平成 21 年 5 月 30 日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2008

課題番号：19560161

研究課題名(和文) バイオポリマーの抵抗減少効果に関する研究

研究課題名(英文) Drag Reduction of Biopolymer Solutions

研究代表者

渡辺 敬三 (WATANABE KEIZO)

東京農工大学・大学院技術経営研究科・講師

研究者番号：20072134

研究成果の概要：

乾燥麹を水に培養して水溶液を作り，層流から乱流域に亘る円管内の圧力損失を実験的に測定し，初めて，36 で 24 時間培養した供試水液が乱流域で最大約 30%の抵抗減少効果を生ずること明らかにした．さらに，その抵抗減少効果の特性及び希釈濃度と抵抗減少率の関係を明らかにした．

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：流体工学、バイオテクノロジー

科研費の分科・細目：機械工学・流体工学

キーワード：流体工学，省エネルギー，菌類、バイオテクノロジー、抵抗減少効果

1. 研究開始当初の背景

流体の抵抗や損失を減少させることは省エネルギーや地球温暖化防止に関わる問題解決の一助となりうる．従来から，流体特に液体の流れに対して抵抗減少剤を添加してその低減を得る方法はトムズ効果⁽¹⁾の発見以来，高分子や界面活性剤水溶液に関して得られている．しかしながら，高分子水溶液や界面活性剤水溶液はその廃棄について環境負荷を与えることでその応用は閉回路の管路系に限定される．それゆえ，開放系管路においても応用可能な環境負荷を与えない抵抗減少剤の開発が望まれていた．

2. 研究の目的

本研究は従来からバイオポリマーが抵抗低減を生ずることが知られており，それらは環境負荷を与えないことに注目した．そして多糖類を生成する日本に多く存在する麹菌に着目し，その培養した水溶液の流動特性を明らかにし，その抵抗減少特性の工学的な応用を図ることを研究目的としている．

3. 研究の方法

3.1 実験装置 実験対象とした流れ場は円管内流れである．供試水溶液の抵抗減少効果の確認はその圧力損失を測定することで確認した．圧力損失実験装置はピストン，

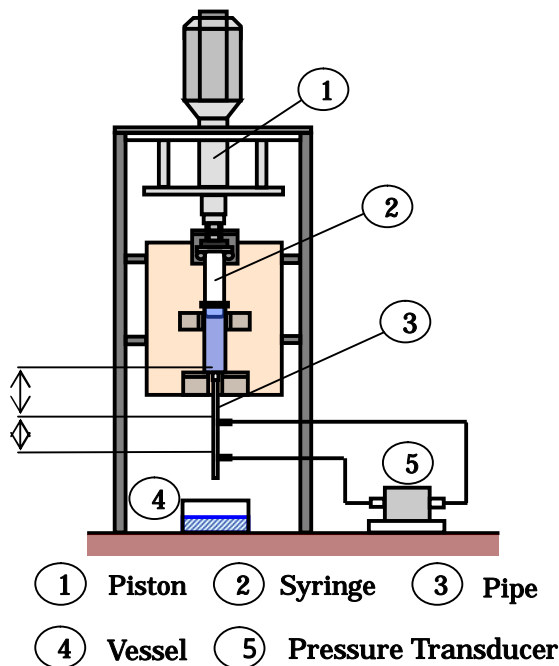


図1 圧力損失測定実験装置

シリンジ、測定流路から構成され、それらを垂直に連結したものである。シリンジは硬質耐熱ガラスの容積 200 ml の注射筒である。シリンジ先端部はロックチップになっており、ワンタッチで測定流路の取り付けが可能である。流量はピストンの押出速度を 0.6~9 mm/s に変更することにより可変でき、本実験の測定レイノルズ数 Re の範囲は $500 < Re < 8000$ である。供試管路は外形が約 4mm、内径 2.005 mm のアルミ管で、内壁は十分に滑らかである。内径は、アルミ管断面の拡大写真により測定した。供試管は測定流路出口部から 50 mm、150 mm の位置に直径 0.3 mm の圧力測定孔が設けられ、圧力タップからビニルチューブを介して圧力損失を測定する。圧力計は可変リアクタンス圧力トランスデューサー (Validyne 社製, DP15 型) である。測定流路の全長は 300 mm で、測定区間は 100 mm、助走区間は 150 mm であり、流れは十分に発達している領域である。

3-2 麹菌の培養 培養器はタイテック社製バイオシェーカーで、使用環境温度範囲は +5~30、使用温度範囲は室温+5~70、温度調節精度は ± 0.5 である。この中で麹菌を培養した。また、培養過程で生成する麹菌水溶液中の二糖類を計測するために、糖度計(京都電子工業会社製, RA-250 型)を使用した。測定範囲は 0~60 Brix% で、分解能は 0.1 Brix%、測定精度は ± 0.2 Brix% である。麹菌(ピオック社製)は乾燥麹を用い以下の順序で培養し、供試水溶液を作成した。乾燥麹(蒸米に麹菌を付加し乾燥させたもの)に水道水を加え、一時間、一定温度で放置する、; の溶液の固形分を取り除き水道水を加え、一定温度(約 35)で、ある時

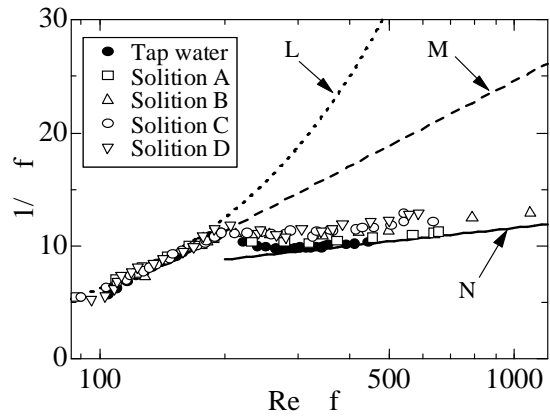


図2 供試水溶液の摩擦係数

表1 供試水溶液の培養条件

Solution	A	B	C	D
乾燥麹 (g)	500	900	400	800
水 (g)	500	1000	100	200
培養温度	35	35	36	36
培養時間 h	46	46	48	24

間麹菌を培養する、; 培養終了後、培養液をろ過する、; ろ過された培養液と水道水を一定量混ぜ合わせたものを、供試麹菌水溶液として実験を行う。

4. 研究成果

供試水溶液の粘性挙動は流動曲線から求められ、粘性における非ニュートン性は認められないことが分かった。

図2に管摩擦特性を示す。 f は管摩擦係数を λ とすれば、 $f = \lambda/4$ で与えられる摩擦係数であり、 Re はレイノルズ数である。

図中の破線及び実線の記号である L、N 及び M はそれぞれニュートン流体の層流、乱流そして Virk の最大抵抗減少線である。また、供試水溶液 A~D は表1に示されるような培養条件で作成された。通常、希薄高分子水溶液における乱流域の抵抗減少効果は摩擦係数の挙動に対して、溶媒のみの値と比較して平行に変化するか、そうでないかによって前者を Type B⁽²⁾、後者を Type A と分類される。それは微視的には添加剤の分子構造の違いによって生ずるものと考えられている^{(3)~(4)}。本実験結果の麹菌を培養した水溶液の管摩擦特性は Type-B であることが判る。一方、抵抗減少効果の開始点はその特性を把握する上で重要である。図から明らかのように、すべての実験値は $Re\sqrt{f} \cong 200$ で最大抵抗減少線から離れ、乱流域の半実験式であるカルマン-プラントルの式とほぼ平行になることが判る。このことより、供試溶液の抵抗減少効果の開始点は $Re\sqrt{f} \cong 200$ と見做すことができる。

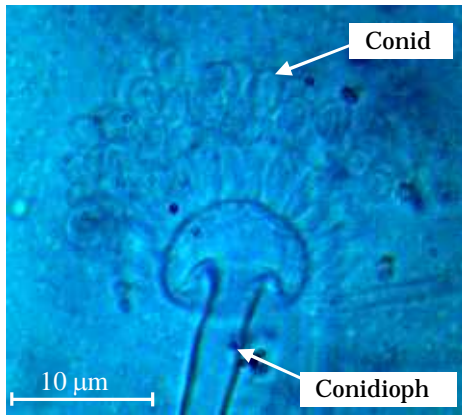


図3 培養した麹菌の顕微鏡写真

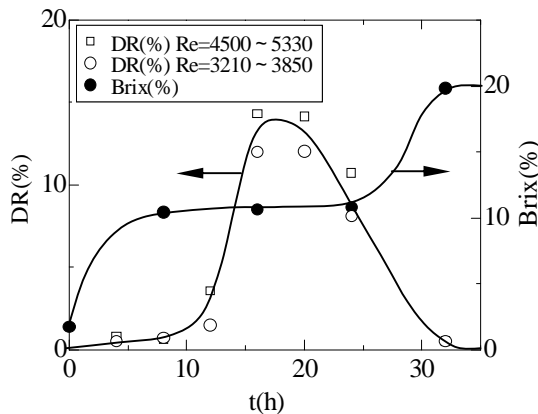


図4 溶液Dにおける培養時間と糖度

表1から溶液AとBを比較すると、培養温度及び培養時間は同一にもかかわらず、その抵抗減少量はBの溶液の方が大きい。また、当初の乾燥麹量は500gと900gで約2倍であるが、それと水の割合はほぼ同一である。最も異なる溶液作成条件は培養後に固形成分の除去に用いたフィルターのメッシュである。それらのサイズは、供試溶液A及び供試溶液Bにおいてそれぞれ0.9 μ m及び20 μ mである。このことはあまり細かいフィルターでは麹菌そのものが除去されてしまうことを意味している。図3は水で培養した麹菌の顕微鏡写真を示す。図3から、分生孢子及び分生子柄を含めた麹菌の大きさは5~10 μ mであり、明らかに0.9 μ mのフィルターではそれらは除去されているものと考えられる。一方、最も抵抗減少量が多い供試水溶液は溶液Dであった。培養時間は他の水溶液と比較して短い。現在のところ抵抗減少量を特定することの可能な培養条件を決めることが出来ないが、本研究では培養過程で生成されるとBrix糖度と培養時間の関係を調べた。図4は溶液Dの条件に合わせ培養時間毎に抵抗減少率を調べた結果である。

図4から、培養時間の増加に伴って二糖類

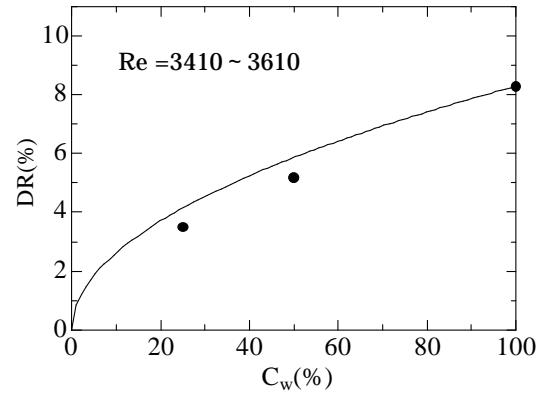


図5 希釈濃度と抵抗減少率

の生成量が増加し、それは一定値になりさらに時間が増加すると増加する傾向をもつ。抵抗減少量は培養が開始される時間領域のほぼBrix糖度が一定値の領域で最大になる麹菌の培養によって多糖類が生成されていることは類推できるが、現時点で、Brix糖度すなわち二糖類の値と抵抗減少効果の定量的な関係は不明である。これらのことから、溶液Cが溶液Dと比較して当初の乾燥麹の量と希釈した水の比が同一にもかかわらず抵抗減少率が低下しているのは、培養時間の増加で麹菌の培養がすでに飽和状態にあると類推される。

一方、本研究で得られたバイオポリマーの抵抗減少効果を工業的に応用する際には培養液を希釈して用いることが考えられる。その場合、抵抗減少率を予測できれば都合が良い。図5は原液を2倍及び4倍の水で希釈した結果を示す。原液は表1のD液と同一条件で培養したもので、その最大抵抗減少率は $Re=6 \times 10^3$ において8.3%であった。図中の実線は濃度曲線として近似した $DR = 0.083 \sqrt{C_w}$ を表す。ここで、 C_w は100%を1として与えた濃度である。図から、希釈液の抵抗減少率は $\sqrt{C_w}$ に比例することが分かる。また、その誤差は $C_w=50\%$ 、 25% でそれぞれ11%および15%であり、原液の抵抗減少率が判れば、希釈濃度における抵抗減少率が15%の範囲で予測できる。

良く知られているように、高分子溶液は機械的なせん断を与え続けるとその抵抗減少効果の特性が低下する、所謂劣化(degradation)を生ずる⁽⁵⁾。本研究で対象としたバイオポリマーも劣化現象を生ずることが予測される。そこでその現象を明らかにするため、供試溶液をシリンジに供給して繰り返し圧力損失を測定した。

図6から明らかなように、抵抗減少率は2~3回の繰り返し数で急激に減少しその後は一定の値に漸近する。しかしながら、高 Re 数域では抵抗減少効果は消失する。この時の溶液の顕微鏡写真を観察した結果、分生孢子柄自体の大きさが減少し

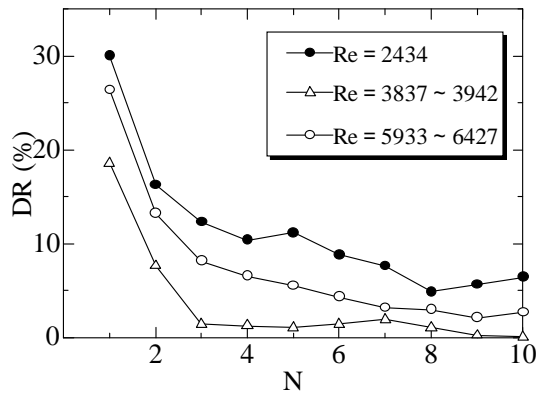


図6 溶液Dの測定回数と抵抗減少率

ており、そのせん断により切断されていることが判った。しかしながら、この観察結果からは多糖類の分子結合状態の変化は明らかにすることは出来ない。劣化の予測及びそのメカニズムを明らかにすることはバイオポリマーの工業的応用⁽⁶⁾⁻⁽⁸⁾を図る上では重要であり、今後、分生孢子柄の成長とその乱れへの影響を含めて劣化現象を明らかにする必要がある。

研究結果のまとめと成果

乾燥麹を水に培養して水溶液を作り、その流動特性と層流から乱流域における管摩擦係数を測定した。また、培養液の抵抗減少効果に及ぼす希釈特性及び劣化特性が実験的に明らかにされた。その結果、その水溶液の粘性における非ニュートン性は無視でき、本研究においては、36 で 24 時間培養した供試水液が乱流域で最大約 30%の抵抗減少効果を生ずることが分かった。そして、その摩擦係数の挙動は従来からバイオポリマーの特性として指摘されている Type-B の挙動と一致し、その抵抗減少効果の開始点は $Re\sqrt{f} \cong 200$ であることが明らかにされた。

参考文献

- (1) Toms, B.A., "Some observations on the flow of linear polymer solutions through straight tubes at large Reynolds numbers", Proc. First Int. Conger. on Rheology, 2 (1949), pp.135-141.
- (2) Virk P.S. and Chen R.H., "Type B Drag Reduction by Aqueous and Saline Solutions of Two Biopolymers at Gigh Reynolds Numbers", Proc. 2 nd Int. Symp. on Seawater Drag Reduction (Pusan, Korea, May 2005), pp. 545-558.
- (3) Hoyt, J.W. "Drag Reduction in polysacaharide solutions", Trends in Biotechnology, Vol.3, No.1 (1985), pp.17-20.

- (4) N. S. Berman, "The Influence of Polymer Additives on Velocity and Temperature Fields", edited by B. Gampert (Springer-Verlag, New York (1985)), pp. 293-297. (Proceedings of the IUTAM Symposium Essen/Germany 1984.)
- (5) S. Goto, H. Kato and K. Watanabe, "Toms Effect and Mechanical Degradation with Plant Mucus Solutions", (in Japanese), Trans of JSME, Vol. 64, No.621 (1998), pp. 1359-1363.
- (6) Peterson, G.R., et al., "Rheologically Interesting Polysaccharides from Yeasts", App. Biochemistry and Biotechnology, 20/21 (1989), pp.845-849.
- (7) Watanabe, K., et al, "Drag Reduction of a Malted Rice Solution", Proc. of 13th European Drag Reduction Meeting ,Aussois , France (2004), pp.83-84..
- (8) Virk, P. S., Mickley, M. S. and Smith, K. A., "The Ultimate Asymptote and Mean Flow Structure in Toms' Phenomena", Trans. ASME, Ser. E (1970) , pp.488-493.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1件)

渡辺敬三, 小方 聡, バイオポリマーの抵抗減少効果に関する研究(麹菌を培養した水溶液の円管内圧力損失), 日本機械学会論文集, 75巻, 752号, 585-589(2009)、査読有

〔学会発表〕(計 1件)

Keizo Watanabe, Takao Fujita, Drag Reduction Flow Past a Sphere with Hydrophobic Wall, 08 European Drag Reduction and Flow Control Meeting ((EDRFCM), (2008), Georlize, Germany

6. 研究組織

(1)研究代表者

渡辺 敬三 (KEIZO WATANABE)

東京農工大学・大学院技術経営研究科・講師
研究者番号：20072134

(2)研究分担者

小方 聡 (OGATA SATOSHI)

首都大学東京・都市教養学部・准教授
研究者番号：50315751

(3)連携研究者

なし