

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：11501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25630005

研究課題名(和文) 走査型顕微光散乱によるソフト&ウェット流路の解析技術の開発

研究課題名(英文) Analysis technique for soft and wet channel developed with scanning microscopic light scattering

研究代表者

古川 英光 (Furukawa, Hidemitsu)

山形大学・理工学研究科・教授

研究者番号：50282827

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：走査型顕微光散乱によるソフト&ウェット流路in-situ観察システムの開発を行った。高強度ゲルと3Dプリンターの技術を組み合わせることにより、血管を模倣したソフト&ウェット流路の設計と作製を行った。また、ずり流動するゲルの表面近傍に存在する流体に剛直な高分子を添加しながら、ゲルの表面の直接観察を行い、流動に対する添加高分子の効果を調べることができた。さらにゲルの表面近傍を直接測定する装置の開発により、ずり流動するゲル表面の水層を直接観察した。

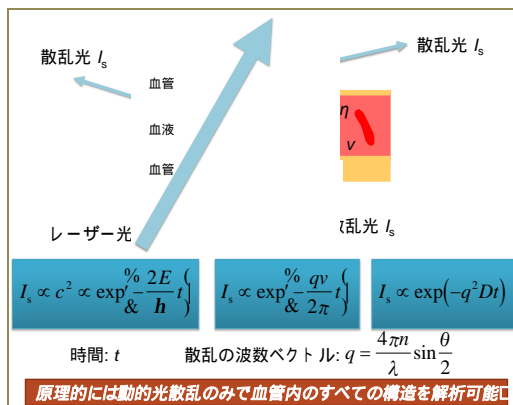
研究成果の概要(英文)：In-situ observing system for soft and wet channel was developed with scanning microscopic light scattering. By virtue of the combination of high-strength gels and 3D printing techniques, a blood vessel model of soft and wet materials was designed and made. Also, a shear flow near the wall of gels was observed by in-situ observation of gel surface. The effect of additional rigid polymer on the shear flow was studied. Additionally by developing an apparatus for the in-situ observation of gel surface, the water layer of the shear flow on gel surface was directly observed.

研究分野：ソフト&ウェット材料工学

キーワード：表面・界面物性 高分子構造・物性 機械材料・材料力学 ゲル 光散乱

1. 研究開始当初の背景

生体内に存在する組織の多くは、ソフト&ウェットマターであるゲルで構成されている。そのひとつ、血管は内皮細胞表面の低摩擦性によって流動抵抗を低減し、赤血球がその直径7~8μmの半分以下の内径しかない細い毛細血管内を詰まることなく循環し続けることを可能にしている。ソフトでウェットな血管表皮組織はどのような戦略で界面における表面摩擦と栄養や酸素の交換をかくも巧みに実現しているのだろうか？ソフト&ウェットな流路における輸送現象が、固体の壁面からなる流路内の流動と大きく異なる点の一つとして、例えば血管を例にとれば、血液内の成分と血管内の成分との相互拡散、また血管の変形などが考えられ、系全体を記述するためには下記のような様々な物理量が必要になる(下図)。



- 1) 血管は身体の動きに合わせて変形する軟組織: 血管壁の弾性率 E 、血液の濃度 c 、粘度など
- 2) 血管は物質を透過する含水組織: 血液の流速 v 、血管壁の拡散 D など

ソフト&ウェットな流路における輸送現象の特徴的は、まさにこのような様々な物理量が、空間スケールや時間スケールの階層を越えて相互に関わり合いながら多様な動的挙動を生み出しているということである。そして流体の挙動だけに注目するのではなく、ソフトな管壁の挙動にも同時に網羅的に注目することがソフト&ウェットな流路における輸送現象を解明する上で非常に重要であるという考えに至った。一方、申請者の古川は、世界に先駆けて、ゲルの内部構造解析に優れた走査型顕微鏡光散乱を独自に開発し、ゲルの網目構造解析を系統的に行い、ゲルの研究を精力的に推進してきた[Phys. Rev. E, 68, 031406 (2003)他、関連論文 20 報以上]。そして動的な光散乱を用いれば、1), 2)に挙げた全ての物理量を原理的に解析可能である。ここに新しい観測システムの開発が、この現象の解明に必須であるという発想が生まれた。

2. 研究の目的

「ナノ・マイクロスケールでゲルと流体の界面の動的現象を in-situ 観察する」ことを目的として走査型顕微鏡光散乱の原理を応用した新システムを開発し、血管というソフト&ウェットな流路における輸送のメカニズムを解明する。

毛細血管内皮の低摩擦性については、内皮細胞表面に硫酸多糖の濃厚ブラシ構造が存在することが電顕観察されており、医学界ではそれが原因だと考えられている。しかし、もし毛細血管が硬くなれば、いくらブラシ構造があっても血球の輸送は著しく制限される筈である。また、血液の粘度は血中酸素量によって大きく変化するが、単純に粘度が上がることによって輸送が低下すると短絡できないのは流体研究者には当然のことであっても、医学分野でそのことを理解させるのは難しい。本研究で開発するシステムが、血管内の流動現象の in-situ 観測に活用され、医学研究分野におけるツールとして利用されれば、医学における俗説の真偽を簡便に検証する方法論を提供できるという点においても、本研究は萌芽的かつ挑戦的であり、工学分野に留まらず、医学分野に対して未知なる情報や方法論を提示できるという意義がある。

3. 研究の方法

- ・ソフト&ウェット流路の設計と作製: 血管を想定した流路を設定するため、腕の血管(内径 5~9mm)に相当する内径をもつ透明でソフト&ウェットな管状の造形物を高強度ゲルで作製する。最初は単純なチューブ状の流路を設計し、徐々に改良を進める。設計に基づいて流路を試作し、実際にポンプで流体を流し、流速を測定しながら最適な流路を作製する。
- ・流路ゲルの調製: これまでの研究成果により、ゲルの種類を変えるとゲルと流体の間の相互作用が変化するため、それによって壁面近傍の流速場が変化することが予想される。本研究に最初に用いるゲルとしては、透明で弾力に富む親水性のポリジメチルアクリルアミド(PDMAAm)ゲルや高強度ダブルネットワークゲルが適していると考えられる。調製条件を系統的に広く変えてゲルを調製し、流路中の流量が安定し、かつ in-situ 観察に適した都合の良いゲル試料を作製する。また 3D プリンター技術の活用も試みる。
- ・ソフト&ウェット流路の in-situ 観察

疑似血管中の疑似赤血球輸送の直接観察：上記の流路作製がおよそ上手く行ったところで、実際に流路に赤血球を想定したラテックス微粒子を含有した水溶液を循環させながら、流路内の in-situ 観察を試みる。特に最初のターゲットとしては、流速の変化によるラテックス微粒子の分散挙動変化の in-situ 観察に挑戦する。

・ゲル壁面近傍の直接観察 壁面の位置変化への追従：ゲルと流体の界面においては、流速や流体の物性を変えることによって法線応力が変化するので、in-situ 観察しようとする、ゲル表面の凹凸や弾性率の場所による違いなどのさまざまな観察条件によって界面の位置が変化することになる。観察条件を広く変えても界面の位置変化に追従し、界面近傍の直接観察できる方法を検討する。

・剛直性を変えた高分子添加物の効果：流体に剛直性を変えた高分子を添加することで、ソフト&ウェット流路中の流動現象がどのように変化するかを調べる。

4. 研究成果

平成 25 年度の主な成果：

・ソフト&ウェット流路の開発

3D プリンター(Stratasis、Objet30Pro)で内径 4mm、外径 10mm、長さ 160mm になるソフト&ウェット流路の型を透明熱可塑性プラスチック Vero Clear を使用して作製した。この型の中にパーティクルダブルネットワークゲルの原液を入れて、UV を照射してゲル化させて成形した。成形後に水溶液中にソフト&ウェット流路を保存していたために膨潤して内径は 5.8mm になったが、内径 6mm 以下の流路を高強度ゲルで造形することに成功した(下図)。また他にも型の形を変えることによって、複雑な形状の流路を作成することに成功した。



図 3D プリンターで作製した型を用いて作成されたチューブ状のソフト&ウェット流路

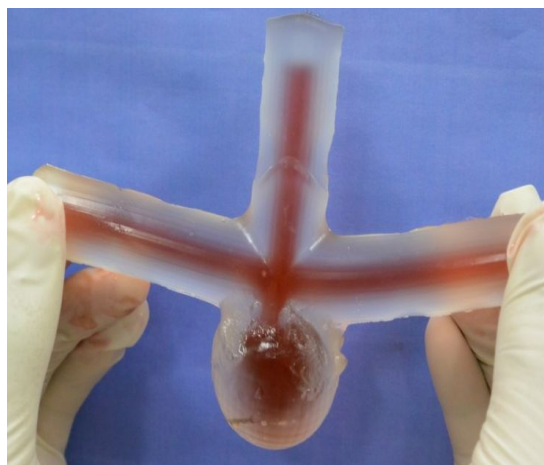


図 三又形状で又の部分に瘤が発生した血管を模したソフト&ウェット流路

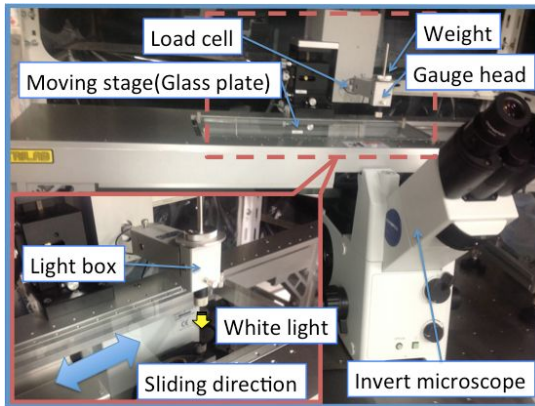
平成 26 年度の主な成果：

・ゲル壁面近傍の直接観察
-剛直性高分子の効果-

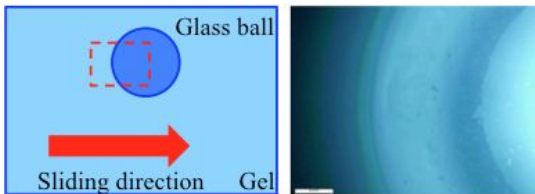
ゲルの板とガラスプレートの間に液晶高分子である HPC (ヒドロキシプロピルセルロース) 溶液を挟み込んで、偏光顕微鏡のステージ上で摩擦させると HPC 溶液の流動複屈折が観察され、顕微鏡の動画として撮影された(下図)。これによりずり流動するゲルの表面近傍に存在する流体に高分子を添加しながら、ゲルの表面の直接観察を行い、添加高分子の効果調べることができた。



・ゲル壁面近傍の観察装置の開発
装置の概観を下図に示す。ゲル-ガラスボールのずり界面は倒立顕微鏡を用いて観察される。ずり速度は 0.1~100mm/s の範囲で任意の速度に設定できる。ガラスボールが取り付けられた測定子部分には白色光源が組み込まれており、光源から出た白色光は、試料ゲルとステージに取り付けられたガラスを透過して対物レンズに入る。またロードセルを組み込むことで、観察と同時にずり応力を同時測定することができる。



開発した装置のステージ上にダブルネットワークゲルを置き、摩擦界面の観察を行った。実験の概観と撮影された顕微鏡画像を下図に示す。ゲルの壁面近傍における水の層を観測した。この顕微鏡画像は動画として撮影されており動的挙動について調べることができた。



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2件)

Naoya YAMADA, Jin GONG, Masato WADA, Masato MAKINO, M. Hasnat KABIR, Hidemitsu Furukawa, Observation of the birefringence in the friction interface with polarizing microscope, Proceedings of the 12th Asia Pacific Physics Conference JPS Conf. Proc., 査読有, 2014, pp0140201-0140204, DOI: <http://dx.doi.org/10.7566/JPSCP.1.014020>

Naoya Yamada, Masato Wada, M. Hasnat Kabir, Jin Gong, Hidemitsu Furukawa, Observation instrument of dynamic friction interface of gel engineering materials with polarized optical microscopic, SPIE Proceedings, 査読有, 8689, 2013, pp0I1-0I7, DOI: 10.1117/12.2009204

〔学会発表〕(計14件)

Naoya Yamada, Hidemitsu Furukawa, Observation of the Characteristic Properties in Soft and Wet Friction of Gel Engineering Materials, SPIE 2015, 2015年3月11日, San Diego, United States

岡田 耕治, 古川 英光, 宮 瑾, M. Hasnat Kabir, 牧野 真人, 3Dゲルプリンター-SWIM-ERの開発とゲル人工血管の研究, 日本機械学会2014年次大会, 2014年9月8日, 東京電機大学東京千住キャンパス(東京都)

Naoya Yamada, Jin Gong, Masato Makino, M. Hasnat Kabir, Keisuke Maekawa, Masato Wada, Hidemitsu Furukawa, FRICTIONAL MEASUREMENT OF GEL ENGINEERING MATERIALS WITH LASER PROCESSED SURFACE, the 5th JSME/ASME International Conference on Materials and Processing (ICM&P) 2014, 2014年6月11日, Cobo Center, Detroit, Michigan USA

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等
・山形大学研究者情報
<http://yudb.kj.yamagata-u.ac.jp/index.jsp>
・古川研究室ホームページ
<http://furukawa.yz.yamagata-u.ac.jp>
・ソフト&ウェットマター工学研究室
facebook
<https://www.facebook.com/swelbook>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

古川 英光 (Hidemitsu Furukawa)
山形大学・理工学研究科・教授

研究者番号: 50282827

(2)研究分担者
なし

研究者番号：

(3)連携研究者
なし

研究者番号：