

機関番号：32663

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20360089

研究課題名（和文） 蚊の口吻内非定常マイクロ流れに関する研究

研究課題名（英文） Study on Unsteady Micro Flow in a Mosquito's Proboscis

研究代表者

望月 修 (Mochizuki Osamu)

東洋大学・理工学部・教授

研究者番号：50157830

研究成果の概要（和文）：血液検査用の μ -TAS に搭載するポンプを開発するために、蚊の吸血ポンプの運動をX線による可視化計測と電極を用いた筋電位計測によって調べた。また、ポンプ特性を調べるために、マイクロPIVシステムによって流速分布を計測することで壁面せん断応力を求め、それから吸血針の管摩擦抵抗を見積もった。吸い込み周期から、非定常効果は小さいこと、摩擦抵抗が大きいにもかかわらずポンプ性能は高いことが明らかになった。このポンプ形状を模擬し、 μ -TAS 駆動用マイクロポンプを設計・制作した。

研究成果の概要（英文）： To develop a micro-pump installed in a blood-test μ -TAS, the dynamics of mosquito's sucking blood pump was investigated by a X-ray measurement and an electromyograph. Moreover, the performance of the pump was estimated by a flow rate and pressure head which is equivalent to the friction drag. The friction drag was estimated by shear stress at the wall obtained from the velocity profile measurement by micro-PIV. It was found that the unsteady effect was small, and the pump performance was high even though the frictional drag was large. The micro-pump similar to the mosquito's one was designed and produced.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	8,300,000	2,490,000	10,790,000
2009年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2010年度	2,500,000	750,000	3,250,000
年度			
年度			
総計	13,800,000	4,140,000	17,940,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・流体工学

キーワード：マイクロ流れ，非定常，マイクロPIV，micro-TAS，血液

1. 研究開始当初の背景

微小管内の液体流れにおいて、(1)よく知られた管摩擦抵抗のレイノルズ数依存性がどれ程小さい径の管まで適用できるのか、(2)逆に適用できなくなった場合どのような流体力学的取り扱いをすればよいのか、(3)血液のような非ニュートン性を持つ液体では管摩擦係数をどの様に見積もればよいの

か、(4)例えば蚊や蝶のような血液や蜜を吸う生物の口吻では管摩擦抵抗を小さくするようなメカニズムがあるのか、(5)非定常流動に関して何らかの摩擦低減効果はあるのか、などといったことがよくわかっていない。蚊の生体機能を調べた例は Daniel, T. L. (1983) が理論的に吸血機構を考察したもの、Galun R., Koontz L.C. and Gwadz R. W.

(1985) が、実験的に吸血能力を調べた例があるが、機械工学特に流体力学の観点から蚊の吸血システムを研究しているものは従来にはなく、本研究は独創的である。

2. 研究の目的

ポンプそのものの性能を把握するために、X線を使った可視化計測の実施と電極を用いた運動計測およびポンプに付いている筋肉の能力を調べる。これから微細管に必要な動力を見積もる。また、管摩擦抵抗に関しては、口吻内壁面近くの流れと壁面との干渉を明らかにして壁面近傍の速度分布を明らかにすることが重要である。口吻の内径は20 μm であり、口吻内の平均流速から見積もったレイノルズ数は0.2である。これから管摩擦抵抗係数は320 となり、非常に大きい。非定常性のあるこのスケールの非ニュートン流れにおける摩擦抵抗を見積もるのに、直接速度分布の時間的変化を計測するべく、現在ナノパーティクルを用いたPIV法を用いて計測する。蚊のポンプ形状を模擬し、-TAS 駆動用マイクロポンプを設計・制作する。

3. 研究の方法

生きた蚊の口吻内マイクロ流れを共焦点マイクロPIV計測し、一度の吸い込みにおける非定常流量変動を計測する。これにより、正確な流量を見積もる。これまでは赤血球をトレーサーとしていたが、血清の流れとの追従性を確保するためにはナノパーティクルを用いる必要がある。蛍光物質をコーティングしたナノパーティクルの微弱光を計測するために、高感度のカメラを用いる。

矩形断面をもつマイクロチャンネル内の流れ計測はできることを確認したので、内径が口吻と同じ20 μm のガラス性のマイクロチューブを作成し、それに純水を流し、速度分布計測を計測する。したがって、ニュートン流体のマイクロ流れの特徴をこれにより把握する。さらに、血液をこれに流し、その流動特性の違いを調べる。また、口吻と同じスケールのガラス管内の流れ計測も行い、比較する。

原子間力顕微鏡である生物顕微鏡により吸血管内壁面の性状を計測し、口吻材料の表面構造データを集積する。

マイクロチューブを高分子材料であるフッ素樹脂(図6)を用いて製作し、抵抗低減のための表面加工を施す。どのような高分子材料がよいか、調査を行う。マイクロチャンネルを製作し、その流動特性を調べる。特に表面性状の流れへの影響を調べる。マイクロチューブの素材には高分子材料を用いる。エキシマレーザーを用いたマイクロ加工技術により微小管を製作する。製作したマイクロチ

ューブに血液、水を流し、蚊の口吻と同じ摩擦抵抗が得られるか計測を行う。性能評価後、問題があれば設計をし直すか、パターンの切り直しを行う。この作業を繰り返し、蚊の口吻の性能に近づける。

蚊の口吻を模した微細管を作成し、-TAS への適用可能性を試す。エキシマレーザーを用いた微細加工技術を用い、ナノサイズの内壁構造をもつ幅50 μm 、深さ45 μm の矩形断面微細流路を作成する。これに樹脂フィルムをラミネート接着することでマイクロ分析チップを作成し、血液を流す。三叉路における赤血球の配列状態を検査しやすいように一列に並べて流すことが重要である。また、ただ並ぶだけではなく、どの赤血球も同じ方向を向いて並ぶ必要がある。蚊の口吻内における赤血球は口吻の中央部を流れていることが申請者によって可視化されているので、口吻内微細構造が赤血球の配列に何らかの影響があるものと思われる。しかし、その壁面における微細構造が赤血球に流動姿勢にどの様に影響があるかはわかっていないので、人工のマイクロ流路につけた微細構造と赤血球の干渉について調べる。これにより

TAS への適用を吉田によってヒトの髪の毛をパイプにする技術が確立されている。それを適用することで、実現を目指す。

4. 研究成果

蚊の咽頭ポンプは、上面および両側面の三方向に接続される筋肉によりポンプ容積を変化させ、ポンプ運動を行っている(図1)。その容積変化において幾何学的な高膨張比を持つことが明らかとなったが、その形状変化をそのままマイクロポンプ設計に反映させることは技術的な矛盾が生じる。そのため駆動部や電源が最小となるよう、蚊の吸血ポンプの断面形状であるルーローの三角形の形状のみを利用し、ポンプ内部の容積変化を容易に作り出す回転式ギアポンプ構造を考案し、設計を行った(図2)。この構成であると4つの入出力ポートが確保できるので、それらの組み合わせでいろいろな使い方が出来る。例えば人工心臓への応用も可能である。

このポンプの動作は蚊の頭部にあるポンプをX線撮影した動画から求めた。運動の様子を図3に示す。2つのポンプの運動が半周期ずれていることがわかる。これを想定して、図2に示すポンプの4つのポートはすべて一カ所に集合するようにし、変動を小さくしている。

赤血球が口吻内を流れる様子を図4に示す。これより、ポンプの吸引周波数は約5 Hz であることがわかった。ナノパーティクルを含め

た液体を蚊に吸わせて口吻内の速度分布を

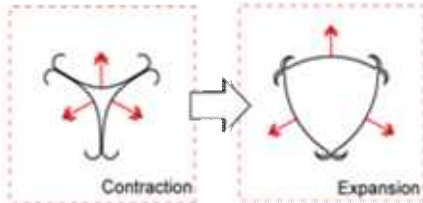


図 1 吸血ポンプ断面形状．3 方向についた筋肉で膜を引っ張ることで膨張させる．

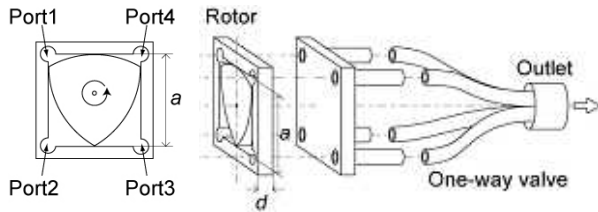


図 2 蚊のポンプと同じ断面形状をもつローターを回転させることで 4 つの角の容積変化を生じさせる．

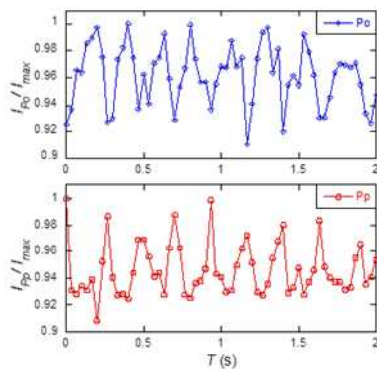
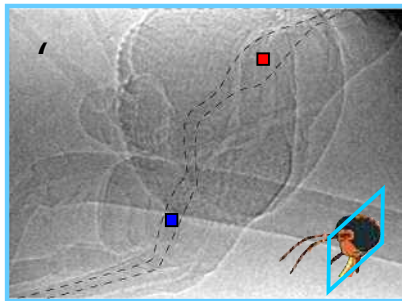


図 3 頭部の X 線撮影と 2 つのポンプの容積変化



図 4 口吻内を流れる赤血球

計測し、周期的平均を取ると、速度分布はほぼ放物分布となることがわかった．これより、流量と圧力ヘッドを用いてポンプ動力を見積もると、 $2.4 \times 10^{-7} \text{W}$ であることがわかった．ポンプの容量からすると人工ポンプの 1000 倍ほど高い出力であることがわかった．

成形材料に生体適合性素材であるゼラチン粉末を用いて作った針を図 5 に示す．また、デフォーカスレーザー加工して厚さ 1mm のグラスカーボンに穴開けした結果を図 5 の右図に示す．この方法で貫通させられることがわかる．

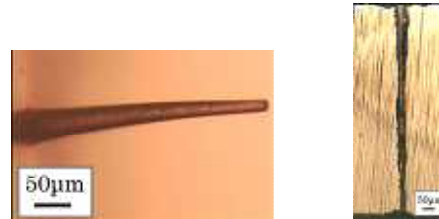


図 5 ゼラチン針の光学顕微鏡写真(左図)、移動焦点でのレーザー加工穴の断面レーザー顕微鏡写真(右図)

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 5 件)

K. Kikuchi and O. Mochizuki, Consideration of thrust in escaping motion of a mosquito larva, Journal of Aero Aqua Bio-mechanisms, 査読有, Vol. 1, No. 1, 2010, pp. 111-116.

M. Yokoyama and O. Mochizuki, Effects of forced synthetic vibration on mixing in a flexible container installed in a micro-TAS, Sensors and Actuators A:Physical, 査読有, vol. 163, 2010, pp. 393-400.

Y. Yoshida, and T. Takei, Fabrication of a Micro Needle Using Human Hair, Jpn. J. Appl. Phys., 査読有, Vol. 48, 098007, 2009, pp. 2 .

K. Kikuchi and O. Mochizuki, Micro-PIV measurements in micro-tubes and proboscis of mosquito, Journal of Fluid Science and Technology, 査読有, vol. 3, No. 8, 2008, pp. 975-986.

菊地謙次、寺田信幸、望月修：蚊の吸血ポンプ特性評価、生体医工学、査読有、vol.46, No.2, 2008, pp.232-237.

〔学会発表〕(計13件)

吉田善一，レーザー加工のメディカルへの応用(招待講演)，第31回レーザー学会学術講演会，予稿番号D710p_04，pp.130-131，2011年1月9-10日，電気通信大学。

O. Mochizuki, Fluid Dynamics on Swimming Animals (Invited lecture), 13th Asian Congress of Fluid Mechanics (13ACFM), December 17-21, 2010, Dhaka, Bangladesh.

O. Mochizuki, Function of fish tail (Invited Lecture), Lecture at National Chiao Tung University, November 3, 2010, Hsinchu, Taiwan.

K. Kikuchi and O. Mochizuki, Flow on a hydrogel mimicked a surface of living cell, 21st International Symposium on Transport Phenomena (ISTP-21), November 2-5, 2010, Kaohsiung, Taiwan.

岡崎航，吉田善一，マイクロニードルアレイ金型の作製(第二報)，2010年度精密工学会秋季大会，予稿番号M04，2010年9月27-29日，名古屋。

松本勇輝，内田貴司，吉田善一，樹脂注射針一体型マイクロ流路デバイスの作製，第71回応用物理学会学術講演会，予稿番号15a-ZW-7，2010年9月14-17日，長崎。

K. Kikuchi and O. Mochizuki, Visualization of RBC sucked by female Mosquito, The 14th International Symposium on Flow Visualization (ISFV14), June 20-24, 2010, Daegu, Korea.

望月修：生物における泳ぎの流体力学(招待講演)、第24回エアロ・アクアバイオメカニズム研究会、2010年3月22日、

東京。

塩原正記，吉田善一，毛髪針の作製，2010年度精密工学会春季大会，予稿番号H16，2010年3月16-18日，埼玉。

岸野篤，山田博之，寺田信幸，吉田善一，マイクロ流路への微量血液の導入方法に関する検討(第三報)，2009年度精密工学会秋季大会，予稿番号F17，pp.391-392，2009年9月10-12日，神戸。

菊地謙次，望月修：蚊の吸血針内部の速度分布測定、可視化情報学会全国講演会(米沢2009)，2009年10月24-25日，山形。

岸野篤，山田博之，寺田信幸，吉田善二，“マイクロ流路への微量血液の導入方法に関する検討(第二報)”，2009年度精密工学会春季大会，予稿番号K08，pp.771-772，2009年3月11-13日，東京。

菊地謙次，寺田信幸，望月修：微小電極を用いた蚊の吸血ポンプのポンプ周期測定，生体医工学会生体医工シンポジウム2008，2008年9月19-20日，大阪。

〔図書〕(計2件)

望月修：かたち・機能のデザイン事典、バイオミメティクス、分担執筆、「バイオメカニクス：流体の視点」、丸善、2011年1月，pp.394-397。

望月修、市川誠司：生物に学ぶ流体力学、養賢堂、2010年10日，pp.168。

〔産業財産権〕

出願状況(計1件)

名称：微量採血装置およびそれを用いたマイクロ流体素子

発明者：吉田善一

権利者：学校法人東洋大学

種類：特許

番号：特許第4392517

出願年月日：H15.11.11

国内外の別：国内

〔その他〕

BS ジャパン「世の中進歩堂」File60 バイオミメティクス，2009.11.2 放送にて，蚊の吸血機構を紹介

6．研究組織

(1)研究代表者

望月 修 (MOCHIZUKI OSAMU)

東洋大学・理工学部・教授

研究者番号：50157830

(2)研究分担者

吉田 善一 (YOSHIDA YOSHIKAZU)

東洋大学・理工学部・教授

研究者番号：50273032

(3)連携研究者 (0)