

O2-10

超音波ドプラによる遠心ポンプ専用の血栓警告システムの開発

—遠心ポンプ内における血栓形成メカニズムの解析—

Development of the warning system with ultrasonic doppler method to formation of blood clot in a circulation pumps

- Analysis of the clot formation mechanism in a circulation pump -

○ 武井将信 (電機大院・理工) 横井涼 (電機大院・先端科学技術) 松本健 (電機大院・先端科学技術)

野中一洋 (電機大院・理工) 幡多徳彦 (電機大・フロンティア共同研究センター)

福井康裕 (電機大院・理工) 舟久保昭夫 (電機大院・大理工)

Masanobu TAKEI, Kazuhiro NONAKA, Graduate School of Science and Engineering, Graduate School of Tokyo Denki University

Ryo YOKOI, Takeshi MATSUMOTO, Graduate School of Advanced Science and Technology, Graduate School of Tokyo Denki University

Norihiko HATA, Frontier Research and Development Center, Tokyo Denki University

Yasuhiro FUKUI, Graduate School of Science and Engineering, Graduate School of Tokyo Denki University

Akio FUNAKUBO, Graduate School of Science and Engineering, Graduate School of Tokyo Denki University

Abstract: In the present study ,the interaction between blood clot and ultrasonic waves was examined. As percutaneous cardiopulmonary support system(PCPS), the blood clots is offending in a circuit and a circulation pump bearings. And the serious thrombotic disease occurs with a flowing blood clots in medical practice. In order to resolute the problems. The blood clot waring system is developed by using ultrasonic in the circulation pump.

Key Words: Blood clot, Ultrasonic waves, Circulation pump, Ultrasonic doppler method

1. 背景

近年、長期使用を目的とした経皮的心肺補助システム (PCPS) などの血液状態の監視・制御の研究開発などが行われている。PCPSなどに用いられる遠心ポンプの長期使用時における問題として、遠心ポンプ内の軸受付近や回路内に血栓が生じ、この血栓が患者の体内に流入し重篤な血栓症を引き起こすことが挙げられる。そこでこの問題を解決するため、本研究では非侵襲的で、かつ画像化も可能な超音波を用いた、遠心ポンプ専用の血栓警告システムの開発を目的とした。

2. 実験

今回は超音波で血液の状態変化または血栓の形成を予測するためのデータを取得可能か否かの考察を行うため、以下に記す比較実験を溶媒となる液体および発振周波数を変更し、それぞれの条件下における電圧と周波数の計測実験を行った。また実験結果から必要と予測される回路の検討も同時に行った。

Table1 に実験で用いた牛血液の血液状態を、Fig.1 に今回行った実験の回路図を示した。 piezofilmの圧電効果を用いて、発振器から超音波を発振しオシロスコープを用いて受信した電圧の波形データ取得を行った。

今回の実験では比較のためにチャンバー内部の溶媒を水で満たしたものと牛血液で満たしたものでデータ取得を行い、検討を行った。

Temperature[°C]	Hematocrit[%]	Viscosity[cP]
37	36	6.3

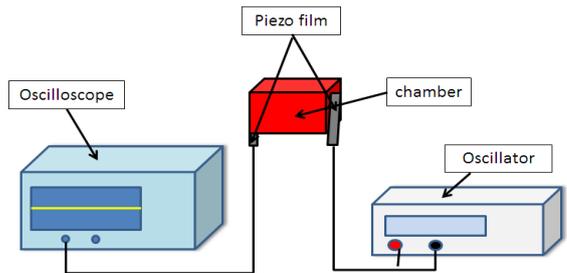


Fig. 1 Experimental schematic

3. 実験結果

Figure2-5 に水と牛血液を用いた電圧の波形線を示す。

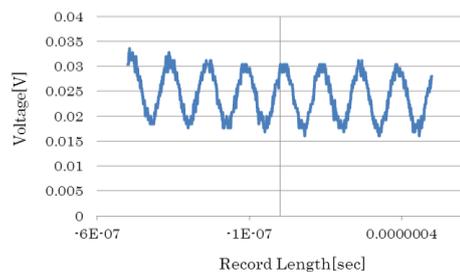


Fig. 2 Change in voltage with water at frequency 8[MHz]

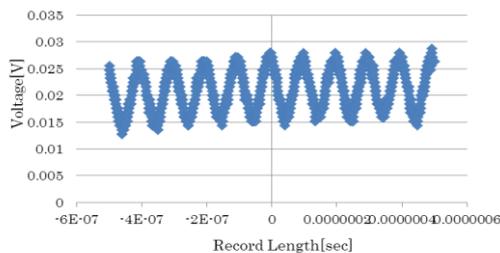


Fig. 3 Change in voltage with water at frequency 10[MHz]

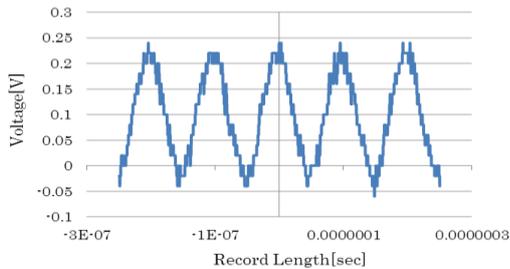


Fig. 4 Change in voltage with bovine blood at frequency 8[MHz]

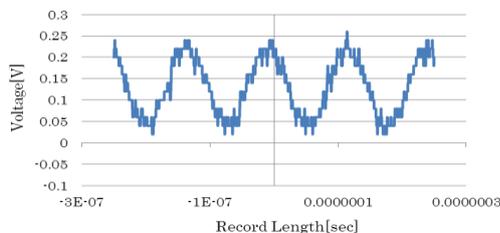


Fig. 5 Change in voltage with bovine blood at frequency 10[MHz]

今回の実験では発振器から発振する周波数の条件を 8V と一定とし、8MHz と 10MHz の二つに分けて行った。これは超音波画像診断などで、血栓形成を観測する際に使用する周波数が 10MHz 前後を想定しているためである。

実験結果から Fig.2 から Fig.5 を通して、周波数を上げることで受信される電圧に変化が起きているのがわかる。また、Fig.1 および Fig.2 よりチャンバー内部の溶媒を水で行ったところ、電圧の値は Fig.2 では 0.10V から 0.25V、Fig.3 では 0.20V から 0.35V の正弦波を示した。牛血液を溶媒とした近似モデルの実験結果では、Fig.4 では -0.05V から 0.24V、Fig.5 では 0.02V から 0.26V の電圧変化が示された。このことから、血液に対して発振する超音波の値を変化させることで、電圧の変化や周波数のデータを取得することが可能であることが示唆された。

4. 考察

本実験では電圧のほかに周波数の取得も同時に行ったが、オシロスコープから取得される周波数の値が定まらず、データを取得することが困難であった。この問題を解決するため、今回用いた piezofilm には増幅回路やフィルタ回路などを繋げずに実験回路に設置し、実験を行った。受信装置側の piezofilm にフィルタ回路および増幅回路を設置させることで、取得する周波数の帯域を制限し周波数の安定化を図ることで問題が解決できると考えられる。

今後の血液実験を行う際に対象とするものが遠心ポンプ内部や回路内を流れる血液であるため、送信部に設置され

ている piezofilm にも改良が必要であると推察される。理由として最終的に超音波を発振する部位が流動状態の血液やポンプ内部の回転体を流れる血液や遠心ポンプの軸受付近の血液状態の観測を行う必要があるため、そのような場所に対して超音波を発生させる場合、圧電素子のみの状態で超音波を発振させたとしても、超音波は発生原から放射状かつ同心円状に広がっていく特性があるため、対象となるポイントだけに超音波が触れていない可能性や、対象以外のデータまで取得してしまう危険性がある。それらの問題を払拭するためにも超音波に整合性を持たせ、かつ狙った箇所に発振するためのプローブの必要性が示唆される。今回の実験では比較データの取得と超音波による有意性の有無の実験のために簡易的な実験からこのような結果になったが、今後の実験のためにプローブの開発を行うとともに、実験対象となる血液の状態変化をどの部位で見るとかの検討を行うことでより信憑性のあるデータが取得できることが示唆された。また、プローブの作製およびフィルタ回路、信号増幅回路を作製し設置することで周波数の変化も同時に見ることが可能であると考えられ、今後の課題の一つであると考えられる。

次に実験で用いた piezofilm についての考察を行う。今回の実験において piezofilm の圧電効果を用いることで、超音波の振動から電圧を取得しその変化から血液の状態変化との関連性の有無を試みた。piezofilm は圧電素子として使用でき、かつ取得できる周波数帯域が広いのが特徴である。今回の実験では比較データを取得することを目的としていたため、受信または発振する周波数帯域が広いことに加え、±90V に耐えられるという利点を考慮して piezofilm を選択した。また、piezofilm は全体の厚さが 205 μm、フィルム本体の厚さは 28 μm と薄く、メガヘルツ単位の周波数も発振および受信可能であることから、設置範囲が狭い箇所や小さな範囲でも設置可能であるなどの利点が挙げられる。遠心ポンプは構造上センサを取り付ける箇所が少なく、最終的にこの piezofilm の薄さを利用したセンサの開発が必要であると考えられる。

超音波の特性として、物質または流体内部を通る際に減衰しながら進んでいき、周波数が常に変化していく。その特性から、血液循環回路または遠心ポンプ内部に対して発振器から発生させた超音波を送信し、超音波が回路内部を通る際に起こる減衰の変化を設置した piezofilm で取得し、減衰した超音波から得られる電圧の変化と血液の状態変化に関連性があると推測された。しかし、前述した通り周波数の安定化ができず、周波数特性を得ることができなかったが、オシロスコープから取得した電圧のグラフから、周波数を変化させることで電圧の変化を取得することが可能であることが確認された。今後の血液実験では血液状態をより一層血栓ができやすい状態に変化させていき、その過程をオシロスコープならびに前述した回路を作製することで観察していくことが重要であると考えられる。

5. まとめ

本実験から超音波を用いることで血液の状態変化を測定できる可能性があることが示唆された。

今後の方針として電圧および周波数特性を取得するための回路およびプローブの作製を行うと共に、血液実験を行い、かつ基礎検討を行うことが必要であると推察された。