

# 血液凝固 早期検知システムの提案

寺谷

大阪ハイテクノロジー専門学校 臨床工学技士科（昼間部4年制）

## Proposal of Detection System of Blood Coagulation

Teratani

Department of Clinical engineer, Osaka College of High-Technology

### 要旨：

体外に血液を導き出す、血液透析治療や人工心肺治療などの体外循環において、血液の凝固対策は命に関わる重要な課題の一つである。血液透析時の血液凝固の有無の確認は、血液回路の内圧上昇や目視などで判断する。従来の方法では血液凝固のある程度の進行を前提としているため、血液凝固の発見時点で、血液の循環回路の交換が必要であり、治療患者への負担を強いる。

本研究では上記課題に対し、赤外線吸光度の変化から、血液凝固（血液内の異物）を検知するシステムの試作を行った。本システムにより、循環流体中における、1mm サイズの異物検知を確認した。血液凝固の早期検知への応用に期待できると考えられる。

Keywords： 体外循環，血液透析，血液凝固，赤外線センサ

## 1. はじめに

### 1.1. 研究背景

#### 1.1.1 血液透析

血液透析とは腎臓の機能低下や機能不全の患者を対象に、人工腎臓（ダイアライザ）を用いて人工的に腎臓機能を代行する治療のことである<sup>1)</sup>。腎臓が機能低下を起こすと、尿毒症を発症し命に関わるため、患者は週に3回程度、血液透析治療を行う。治療内容は血液内の不要物質を除去し血液の浄化や血液内の電解質濃度調整、水分維持をおこなう事を主な目的とする<sup>2)</sup>。日本では、29万7126人（2010年度）もの人が血液透析という治療をおこなっており、現在も治療患者人数は増加を続けている<sup>3)</sup>。このため、現在ではメジャーな治療の一つとして認知されており、臨床工学技士の主要な業務の一つとなっている。

#### 1.1.2 現状と問題点

図1に血液透析治療の模式図を示す。血液透析は血液を体内から体外へと引き出し治療を行うため、血液が固まる血液凝固の可能性が常に存在する。血液凝固が発生してしまうことで、治療の中断や、最悪の場合、凝固物が患者の体内に混入することで血管の塞栓を引き起こし、命に関わる危険性がある。そのため、抗凝固剤を投与することで、血液凝固を防いでいるが、抗凝固剤の投与不足や血液の異常停滞などにより血液凝固が発生してしまう可能性は常に存在する。現在、血液透析時における血液凝固の有無は、静脈側回路内圧による監視や、目視による確認が行われている。この手法では血液凝固がある程度進行してからでないと検知することができないため、血液凝固が発見された時点で、血液回路の交換が必要になることが一般的である。また、静脈側回路内圧は血液凝固以外の項目の監視も行っているため、その他の要因でも簡単に変動してしまい、信憑性に乏しいという欠点がある。そのため、より正確かつ、監視精度の高いシステムが必要と考えられる。

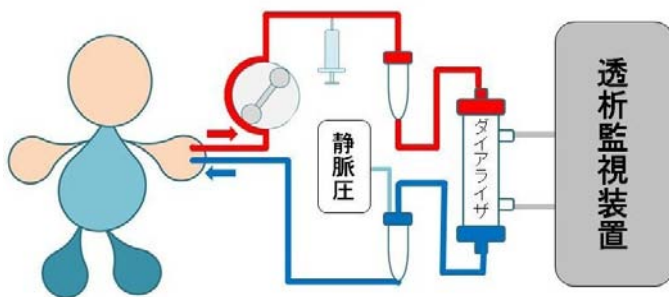


図1. 透析治療の模式図

### 1.2. 研究目的

本研究では、静脈側回路内圧の反応よりも早く、かつ容易に回路内凝固の検知が行えるシステムの提案と作製を行う事を目的とした。早期に検知することにより、抗凝固剤の投与にて、凝固反応の進行を遅らせることが可能であるという利点が挙げられる。

## 2. 検知システム

### 3.1. 赤外線を用いた検知システムの原理

本研究では、赤外線を用いた、循環流体（血液）中の異物検知システムを提案する。波長が 960nm 程度の赤外線は、血中のヘモグロビン濃度変化による吸光度の変化が顕著に表れるため、血中酸素濃度測定器であるパルスオキシメータにも利用されている。血液凝固物では、ヘモグロビンの凝集が起きているため、局所的にヘモグロビン濃度が高濃度になっている。この濃度変化を、赤外線の吸光度変化としてとらえることで、微少な血液凝固の検知できると期待できる。また、赤外線は、工学的に直線性を高くする事が可能であると同時に、非可視光のため、部屋の明るさなど、外部の影響を受けにくい。また、血液への非接触センサが作成可能であるため、衛生面上でも問題が無く、外部取り付けが可能であるため汎用性が高く実用性が高くなると期待できる。

### 3.2. センサ部の基本回路

赤外線を用いた、センサの基本回路構成を図2に示す。赤外線の送受信には、波長 940nm の赤外線発光ダイオード TLN101(A)<sup>4</sup> と赤外線受信フォトダイオード TPS601A(F)<sup>5</sup> を利用した。赤外線の吸光度変化を電圧信号の変化として捉える回路構成である。

センサの動作確認実験として、水道水を循環させた血液回路内に、3, 5mm サイズのアルミホイルを流した。実験結果、アルミホイルがセンサ検知部を通過した瞬間に、出力電圧の変化を確認した。各サイズ 10 回の実験をおこなったが、すべての実験において出力電圧変化が確認され、赤外線は流動する液体中の異物を検知することが可能であることを確認した。

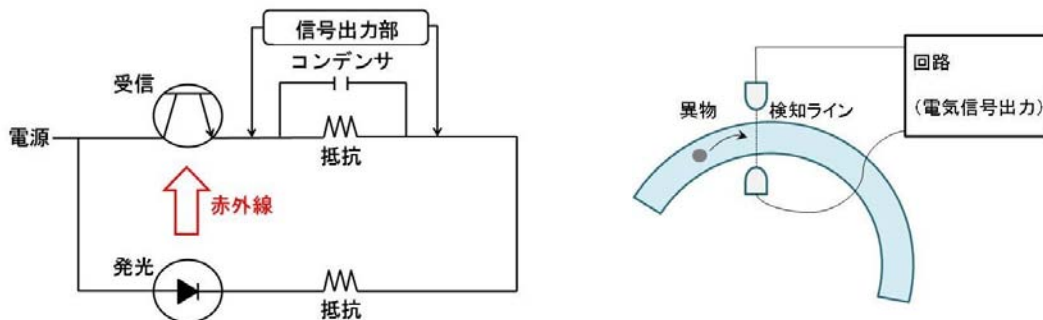


図2. センサ部の回路構成（左）と実験模式図（右）

### 3.3. システムの構成

本研究のシステムは、異物検知を医療従事者に伝えるために警報アラームの発生機構を組み込んだ。システムは、図3に示す様に、①3.2.章で解説したセンサ回路部、②検出能力の設定部、③警報発生部の3構成となっている。②検出能力の設定部は、差動増幅を組み込む事で、電気ノイズ除去を行うと同時に、比較信号以上のセンサ出力があったときのみ反応する回路となっている。この回路で、外乱による信号のばらつきを押さえ、閾値以上の異物に対し信号出力をおこなう回路となっている。③の警報発生部は、②の信号を増幅器で増幅し、ピークホールド回路(6.7)を組み合わる事で、異物通過時の電圧変化を一定値に固定すると同時に、警報素子への電源供給をおこなう。このシステムでは、一度警報音が発生すると、ピークホールドのスイッチ(SW)を押すまで警報が鳴り続ける。

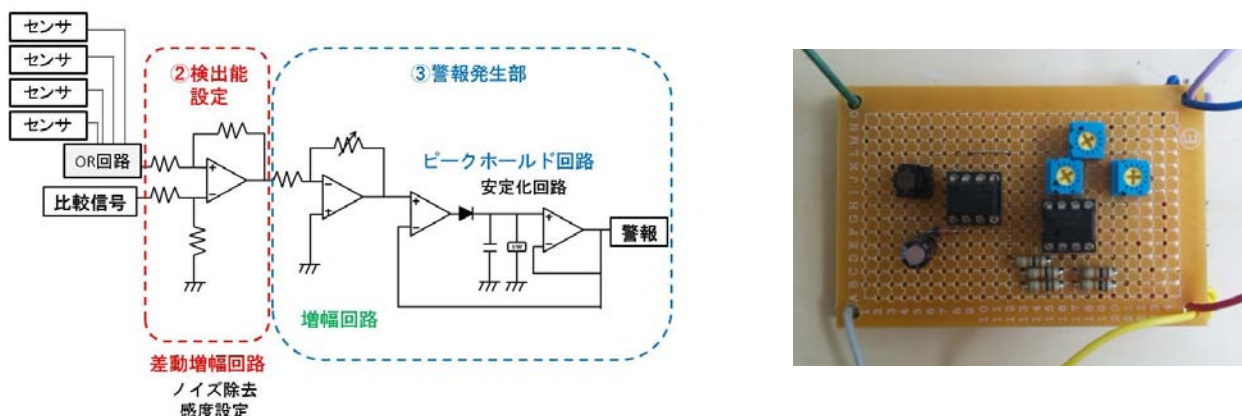


図3. システム回路図(左)と回路写真(右)

また、本システムでは、より高い実用性を実現するために、OR回路を用いて、センサ部を4つ併用している。4つのセンサうち、いずれか1つでも異物を検知すれば警報が作動する。このため、直径のせまい血液回路だけでなく、幅の広い血液チャンバにも対応できるシステム構成となっている。血液チャンバは異物や気泡の混入防止システムであるため、異物の検知場所として利用しやすい場所となる。センサの動作確認を行ったところ、それぞれのセンサが各自反応し、警報が作動することを確認している。

なお、各回路は、複電源オペアンプ(TL082p)、トランジスタ(2SC1814)、小信号ダイオード(1N1488)、半固定ダイオード(105)、固定抵抗(1kΩ, 10kΩ)、電界コンデンサ(10μF)、タクトスイッチ、圧電ブザー(5V振動子内蔵型)を用いてシステムの作成をおこなっている。

### 4. 評価実験結果と考察

作製した検知器を用いて、アルミホイル、1mm程度の大きさの石鹼とゲル状のゼラチンを回路内に流し、実験を行った。結果、すべての異物で警報が作動したことを確認出来た。この結果より、アルミホイルのような金属だけでなく、様々な種類の異物検知が可能であることが確認出来た。

同様の実験を、食紅で赤色に色を付けた着色水による実験を行った。結果、透明水のとときと同じように、すべての異物で警報が作動した(表1)。この結果より、着色水でも異物検知が可能であることが確認出来た。また、本実験では気泡が混入した際にも警報が作動したことから、気泡の検知も可能であることが確認出来、この検知器は固形物でなくても反応し、広い応用性を持つことが分かった。

臨床現場における、微少塞栓の定義は、1.5cmであることや、血管のせまい脳では5mmサイズの血液凝固物の混入から、塞栓が起きる可能性が発生するとされている<sup>8)</sup>。この事から、本研究の1mmサイズ

の検知結果は、5mm サイズより小さいため血液凝固混入による事故への防止能があると期待される。将来的には、上記 5mm サイズに対し安全係数を 10 として、0.5mm サイズの異物検知が必要であると考えられる。今後の課題として、本研究は血液と光学特性の近い、赤色着色水にて実験をおこなっているが、臨床的な信頼性を得るためにも、動物血などを用いた特性評価が必要である。

本システムでは、循環流体中の異物だけでなく、気泡検知も確認できている、気泡混入も命に関わる重大な事故につながるため、システムとしての汎用性の広さが確認できたが、異物と気泡との区別は出来ない。検知としては有効であるが、検知後の事故防止の対処方法が異なるため異物・気泡の識別が今後求められると考えられる。異物では赤外線吸収、気泡では赤外線の反射が発生していると考えられるため、受光センサを2つ利用することで、その受光量の差から識別可能と考えられる。

表 1. 赤色着色水中（食紅色素）での異物検知結果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
アルミホイル	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
石鹼	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ゼラチン	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○

○：十分に反応 △：反応が微弱

△：反応が微弱とは、本来の設定電圧（5V）の出力が得られずに、ブザー音が小さかった事を意味する

## 5. まとめ

赤外線センサを用いてのセンサ部の作製を行い、検出器の作製を行った。作製した検出器を用いて、血液回路内に流れる 1mm サイズの異物や気泡を検知することに成功した。また、血液回路だけでなく、血液チャンバ用の検出器の作製を行った。脳塞栓が発生するとされる、5mm 以下の異物検知が可能であることから模擬的な異物でなく、血液での凝固物検知が可能であることが確認できれば、この検出器は事故防止のための血液凝固の早期検知への応用に期待が持てる。今後、機会を得ることがあれば、動物血などを用いた、in-vivo な試験をおこないその性能評価を得たい。

## 参考文献

- [1] 小野哲章 他, 医用機器安全管理工学, 臨床工学技士標準テキスト (第5版), 金原出版株式会社
- [2] 秋葉隆, 峰島三千男 著: CE 技術シリーズ 血液浄化療法, 南江堂
- [3] <http://docs.jsdt.or.jp/overview/pdf2011/p03.pdf>
- [4] [http://www.semicon.toshiba.co.jp/docs/datasheet/ja/Opto/TLN108\(F\)\\_ja\\_datasheet\\_071001.pdf](http://www.semicon.toshiba.co.jp/docs/datasheet/ja/Opto/TLN108(F)_ja_datasheet_071001.pdf)
- [5] [http://www.semicon.toshiba.co.jp/docs/datasheet/ja/Opto/TPS601A\(F\)\\_ja\\_datasheet\\_071001.pdf](http://www.semicon.toshiba.co.jp/docs/datasheet/ja/Opto/TPS601A(F)_ja_datasheet_071001.pdf)
- [6] 渡辺 明禎, 電源回路の実用設計, トランジスタ技術, 2003年4月号, pp167-183
- [7] <http://www.asahi-net.or.jp/~uu4t-mur/UNCK/pkhd.htm>
- [8] 小田行一郎 (著), STEPseries 外科1, 外科総論・脳神経外科 (第2版), 海馬書房
- [9] Ed., G.Gtuner: Millimeter and Submillimeter Wave Spectroscopy of Solids, Topics in Applied Physics Vol 74, pp51-168, 1998