

色抽出処理を用いた透析用監視装置の新しい静音アラームシステムの開発

Development of a Novel Silent Alarm System for a Dialysis Machine Using Color Extraction Processing

渡邊翔太郎* 古谷大輔* 清水久恵*

Shotaro Watanabe, Daisuke Furuya, Hisae O. Shimizu

Abstract

Dialysis is an indispensable treatment for patients with chronic kidney disease (CKD). Alarm sounds on the dialysis machine during dialysis can cause patients stress. To solve this problem, we developed a novel silent alarm system for dialysis machine using image recognition technology in this study. First, a web camera installed on the ceiling monitors the pilot lamp of the dialysis machine. Next, when a dialysis machine warning or an alarm requiring an emergency action occurs, the pilot lamp turns red and the single-board computer recognizes the red light. Finally, the information is notified as vibration to the mobile phone of the medical staff. At the same time, a text window was displayed so that the dialysis machine generating the alarm can be identified. To evaluate this system, 30 alarm and non-alarm images were used in the simulated training dialysis room where multiple dialysis machines are lined up, respectively, and the coincidence rate were analyzed. This image was taken under one illumination source. When the alarm occurred, the single-board computer correctly detected the alarm on the image of 29/30, and the coincidence rate was as high as 96.7%. Similarly, when there was no alarm, the single-board computer did not detect an alarm in the 27/30 image, and the ratio was 90.0%. However, the red connection of the dialyzer was erroneously detected regardless of whether the alarm was generated or not. Although further research is needed to eliminate false detections, this silent alert system may be a useful alternative to reduce the stress on patients with CKD during dialysis caused by the alarm sounds.

1. はじめに

慢性腎臓病患者は、老廃物の除去、電解質や水分の維持ができないことから、腎機能の代替を目的として人工透析を受ける必要がある⁽¹⁾。日本透析医学会の統計調査によると、2018 年末の透析患者数は 339,884 人である⁽²⁾。また、日本の透析患者の有病率は台湾に次いで世界 2 位であることを米国腎臓データシステム (United State Renal Data System: USRDS) が 2018 年に報告している⁽³⁾。人工透析の頻度は週 3 日であり、1 回あたり約 4 時間と時間を要する。通常、人工透析は透析室で数十名を対象に行われる^{(4) (5)}。

医療機器のアラーム発生時には、必ず点灯装置 (パイロットランプ) や液晶モニタなどの視覚ア

ラーム信号を発生させる必要があると「JIS T 60601-1-8 医用電気機器」で規定されている⁽⁶⁾。また状況に応じ、音響や音声および振動などのアラーム信号を追加することを勧めている。透析用監視装置においても、治療中の異常を検知した際はパイロットランプや音響などのアラームで臨床工学技士や他の医療従事者に知らせている。臨床現場では、追加のアラーム信号として音響であるアラーム音を併用することが多く、その音量を大きくすることが推奨されている⁽⁷⁾。

しかし、このアラーム音は頻回に、大きな音が鳴るため、患者のストレスとなることが現在問題となっている⁽⁸⁾。日浦らは「透析用監視装置の警報が 62dB と、患者・スタッフの会話時の 64dB に次いで

大きい」ことを報告している⁽⁹⁾。また、加納らはアラーム音について「音がうるさい(46%)、アラーム音を聞くと不安になる(44%)」と患者が感じていることを報告している⁽¹⁰⁾。

そのため、透析用監視装置のアラーム音に代わる別の静音なアラーム信号を採用することは、患者が長時間の透析治療中にストレスなく快適に過ごすために重要である。そこで今回我々は、透析用監視装置の新しい静音アラームシステムを開発し、本研究で提案するアラーム検出方法の検討を行った。

2. 機器および方法

2.1 静音なアラームシステムの機序

本研究のシステム構成を図1に示す。透析用監視装置は図2に示すニプロ株式会社のNCV-3を用いた⁽¹¹⁾。本装置は、血液抗凝固薬を注入するシリンジポンプや血液を体外へ導くためのローラポンプ、透析液を供給する供給部などに加え、治療中の異常を知らせるアラームシステムから構成される。装置内のセンサが回路内圧力や患者血圧の異常を検知した際には、パイロットランプと液晶モニターでアラームの発生とその重要度を視認できるようになっている。通常パイロットランプは操作準備完了の緑色であり、警告・注意の際には黄色、危険警告や緊急に対処が必要な時には赤色となる。この透析用監視装置のパイロットランプを捉えるWebカメラはRaspberry Pi Camera 5MP(解像度: 2,592×1,944)を使用し、Webカメラが取得した画像の処理と、アラーム判定を行うシングルボードコンピュータは、Raspberry Pi 3 Model B+を用いた⁽¹²⁾。また、携帯情報端末としてiPhone 8(Apple, Inc., Cupertino, CA, USA)を使用した。

Webカメラとシングルボードコンピュータのインターフェースは、Camera Serial Interface(CSI)を、シングルボードコンピュータと携帯情報端末の通信は、Bluetoothで接続し、ペアリングを行った。シングルボードコンピュータには、予め画像処理のソフトウェアであるOpen Source Computer Vision Library(OpenCV)と、アラーム判定に用いたプログラミング言語にPythonを実装した⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。

具体的には、(1) Webカメラが透析用監視装置のパイロットランプを監視し、(2) アラームが発生した時にはシングルボードコンピュータが赤色を判定し、(3) そのアラーム情報を医療従事者が所持する携帯情報端末に振動として通知するシステムの

開発と検討を試みた。携帯情報端末は振動に加え、テキストウィンドウを表示させることで、アラームが発生している透析用監視装置を同定できるようにした。なお、Webカメラは実際の透析室で使用することを想定し、治療の妨げにならないことや一台のWebカメラで複数台の透析用監視装置に対応できるように天井に設置することとした。

本研究では、音響アラームの代替アラーム信号として、携帯情報端末による振動を追加のアラーム信号として採用したのが特徴である。

2.2 パイロットランプのアラーム検出方法

アラームの検出方法は、画像データから対象物の特徴量(色や形状など)を抽出・分析を行い識別した。今回は、危険警告や緊急対処が必要な時に表示されるパイロットランプの赤色を特徴量として、正

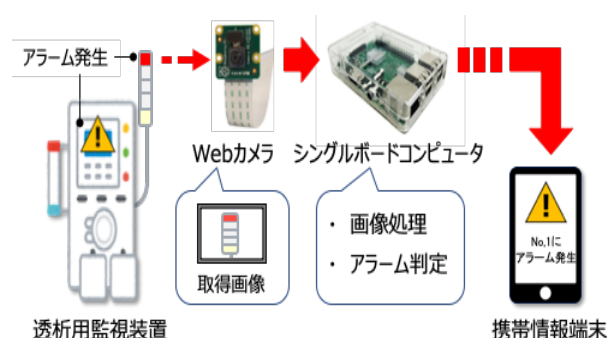


図1 システム構成

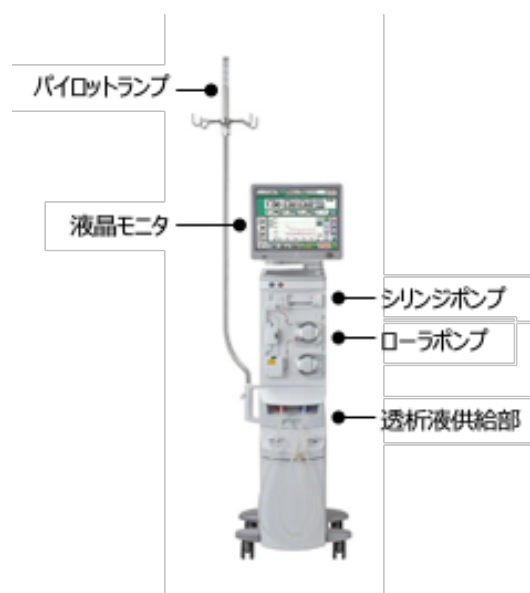


図2 透析用監視装置

しく認識できるかどうか検討した。図3にアラーム検出のフローチャートを示す。まず始めに、RGB表色系である取得画像をHSV表色系に変換した。HSV表色系は、Hue（色相）、Saturation（彩度）およびValue（明度）の色空間を表し、Hは0-360、SとVは0-255の範囲で数値化が可能である。パイロットランプの赤色を汎用的に捉えられるよう抽出範囲を表1に示すように決定した。Hの最小値は320、最大値は360として赤の色相を捉えられるように、SとVはその彩度と明度の範囲を広く捉えられるよう最小値は150、最大値は255とした。この範囲にあるものを赤色点灯時のパイロットランプとして抽出した。抽出した赤色はそれ以外の色（背景）と2値化処理を行い、赤色の領域を計算した。検出された領域の中で面積が最大のものをアラームと判定し、枠で囲うようにして判定結果画像を出力した。

2.3 アラーム一致率の定義

シングルボードコンピュータが、周囲の光源や背景にある物体の影響を受けずに、パイロットランプの赤色アラームを特異的に検出できるか否かを調べるため、赤色アラーム点灯時と消灯時に様々な角度と距離からそれぞれ30枚撮影し、解析した。撮影条件は、できるだけ透析室を模擬した形で北海道科学大学の人工透析実習室を使い、透析用監視装置が複数台並んでいる環境でかつ、一つの照明光源下で行った。なお、治療中には医療従事者の介在が考えられるが、本実験では透析用監視装置のみを捉えることとした。また、それぞれの解析結果から下記の式を用いてアラームの一致率を算出した。なお、正答数とはアラーム発生時はアラームを検出した枚数を、アラーム非発生時はアラームを検出しなかった枚数である。

$$\text{一致率(\%)} = \frac{\text{正答数(枚)}}{\text{入力画像の総数(枚)}} \times 100$$

3. 結果

パイロットランプの赤色アラーム発生時と非発生時の画像30枚をそれぞれ用い、シングルボードコンピュータのアラーム一致率(%)を調べた。表2に示すように、アラーム発生時は、シングルボード

コンピュータが30枚中29枚の赤色アラーム信号を正しく判定し、一致率は96.7%(29/30枚)と高値であった。アラーム発生時の入力画像を図4に示す。一方、アラーム非発生時は、シングルボードコンピュータは30枚中27枚で赤色アラーム信号を検出せず、90.0%(27/30枚)と高い一致率であった。ア



図3 アラーム判定のフローチャート

表1 赤色の抽出範囲

色空間	抽出範囲
H	$320 \leq H \leq 360$
S	$150 \leq S \leq 255$
V	$150 \leq V \leq 255$

表2 アラームの一致率

	正答数 (枚)	誤検出 (枚)	一致率 (%)
アラーム 発生時	29	1	96.7
アラーム 非発生時	27	3	90.0

ラーム非発生時の入力画像を図5に示す。

しかし、シングルボードコンピュータは、アラーム発生時に1枚、非発生時に3枚の誤検出をした。アラーム発生時には、赤色アラームの検出(図6a)に加え、透析器(ダイアライザ)の赤色の接続部を誤検出していた(図6b)。アラーム非発生時には、アラームを検出していないにも拘わらず(図7a),

先程と同様にダイアライザの赤色の接続部を誤認識していた(図7b)。

4. 考察

本研究では、音響アラームの代替アラーム信号として、画像認識技術を用いた透析用監視装置の静音アラームシステムの開発を試み、その有用性について

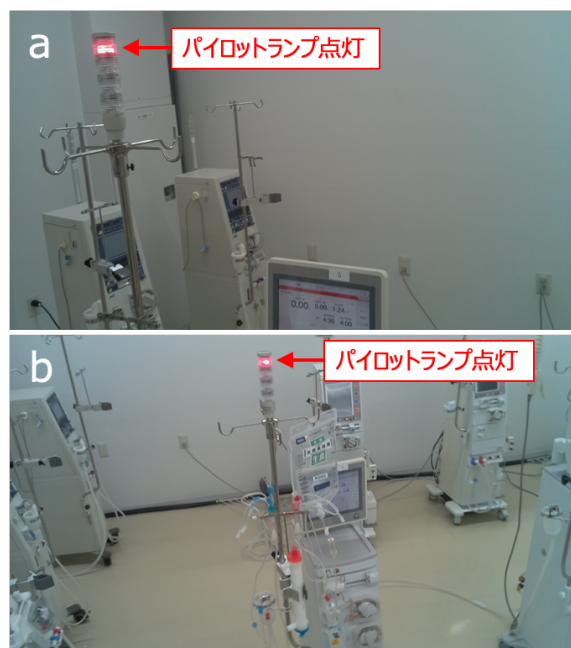


図4 アラーム発生時の入力画像

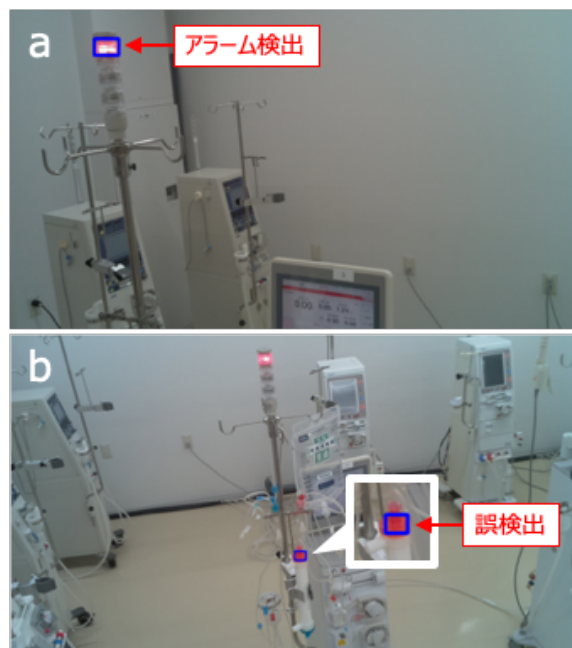


図6 アラーム発生時の検出と誤検出

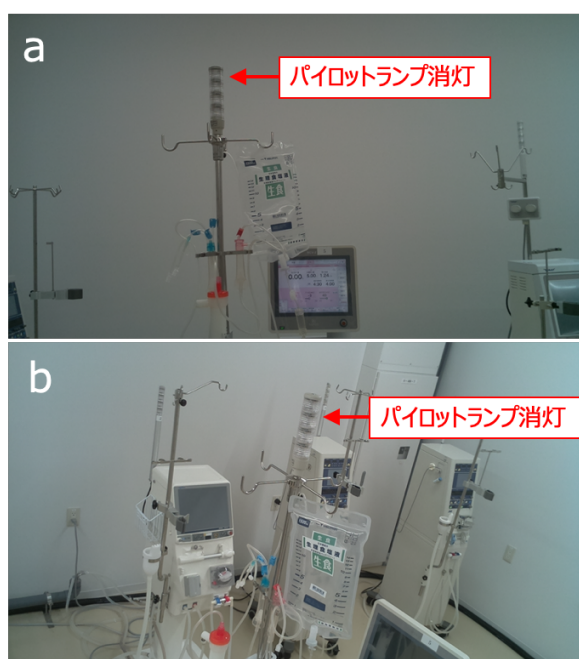


図5 アラーム非発生時の入力画像

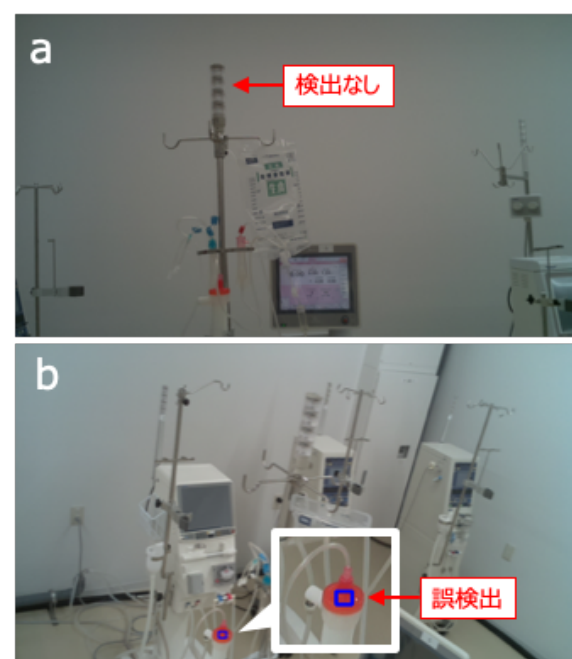


図7 アラーム非発生時の検出なしと誤検出

て検討を行った。危険警告や緊急に対処が必要な時には透析用監視装置のパイロットランプが赤色となることから、赤色アラームを指標に解析したところ、一つの照明光源下であるが画像認識技術は90%以上の割合でアラーム点灯や消灯状態を正しく認識できることが確認された。野口らは透析用監視装置に付属しているRS-232Cインターフェースから警報情報を取得する方法を報告している⁽¹⁵⁾。しかし、透析用監視装置の種類により通信プロトコルが異なることから、それぞれに専用プログラムを開発する必要がある。そのため、一部の限定的なアラームシステムとなる問題がある。我々が注目したパイロットランプからの警報情報の取得であれば、透析用監視装置の機種を選ばず、簡便に行えることから、汎用性が高くすぐに導入が可能であると考え。臨床工学技士を含む医療従事者は、携帯情報端末によってアラーム信号を知り、アラームを発生している透析用監視装置を容易に同定することができる⁽¹⁶⁾。

本研究では、シングルボードコンピュータが赤色のパイロットランプ以外に、ダイアライザの赤色の接続部を誤認識することがわかった。検討した環境では図6と図7に示したように透析用監視装置以外の物は少ないが、実際の透析室の環境には赤色をした様々な物品(医療機器、患者の所有物や衣類など)が存在することが想定される⁽¹⁷⁾。また、図7aにはダイアライザが映り込んでいるが、誤検出は見られなかった。これは画像の明暗により指定したHSV値の特にSとVが範囲外であったが、同様の赤色には注意が必要である。今後、パイロットランプだけを認識できるように角度を考慮してWebカメラを設置する必要があると考えられた。

また、我々が利用した色識別システムに加え、近年注目されている機械学習を併用することで一致率の向上が可能と考えられる⁽¹⁸⁾。すなわち、様々な距離や角度から見た視覚アラームをシステムに学習させることで、一致率の向上と誤認識を防止できると考えられる。

今回は赤色のパイロットランプについて解析を行ったが、今後、警告や注意の際に点灯する黄色についても検討したいと考えている。

5. 結論

色抽出処理を用いた透析用監視装置の新しい静音アラームシステムを開発し、危険警告や緊急対

処が必要な時に表示される赤色アラームを90%以上の一致率で検出できることを確認した。誤検出をなくするためにさらなる研究が必要であるが、本システムは、アラーム音によって引き起こされる透析患者へのストレスを軽減するための代替の静音アラームシステムとして有用と考えられた。

参考文献

- (1) 一般社団法人 日本腎臓学会：エビデンスに基づくCKD診療ガイドライン2018, 日本腎臓学会誌, Vol. 60, No. 8, pp. 1037-1193, 2018.
- (2) 一般社団法人 日本透析医学会：わが国の慢性透析療法の現況 2018 年末の慢性透析患者に関する集計, 2020 年 2 月 2 日, <https://www.jsdt.or.jp/>.
- (3) Renal Data System (Washington, United States) : Chapter 11: International Comparison, the 2018 USRDS Annual Data Report, 2020 年 2 月 2 日, https://www.usrds.org/2018/view/V2_11.aspx
- (4) 土屋陽平, 塚本功, 島田啓介, 渡辺裕輔：人工透析装置, 薬局, Vol. 66, No. 10, pp. 2653-2659, 2015.
- (5) 鶴田耕一郎, 前田兼徳：長時間透析, 透析ケア, Vol. 25, No. 2, pp. 126-129, 2019.
- (6) 日本工業標準調査会：JIS T 60601-1-8 医用電気機器-第 1-8 部, 基礎安全及び基本性能に関する一般要求事項-副通則, 医用電気及び医用電気システムに関する一般要求事項, 試験方法及び適用指針, 2012.
- (7) 山家敏彦：アラームの仕組み, 透析ケア, Vol. 17, No. 3, pp. 222-225, 2011.
- (8) Kopple JD, Shapiro BB, Feroze U, Kim JC, Zhang M, Li Y, Martin DJ: Hemodialysis treatment engenders anxiety and emotional distress, Clin Nephrol, Vol. 88, No. 10, pp. 205-217, 2017.
- (9) 日浦由香, 岡田美千子, 後藤知宏, 柏木英里子, 榊学, 浜尾巧：透析室の騒音測定, 日本透析医学会, Vol. 41, pp. 792, 2008.
- (10) 加納隆：警報装置に関するユーザアンケート調査, 医器学, Vol. 72, No. 9, pp. 439-442, 2002.
- (11) ニプロ株式会社：NCV-3, 2020 年 1 月 14 日,

- <http://med.nipro.co.jp>.
- (12) Raspberry Pi FOUNDATION, 2020 年 1 月 14 日 :
<https://www.raspberrypi.org>
- (13) 橋本直 : 特集 拡張現実感 (AR) 基礎 3, 情報処理学会, Vol. 51, No. 4, p. 382, 2010.
- (14) Jose Unpingco : 科学技術計算のための Python 確率・統計・機械学習, エヌ・ティー・エス出版社, 2016.
- (15) 野口亨, 定松慎矢, 佐々野浩一, 横山武志 : 無線ネットワークを利用した機器動作状況管理システムに関する研究, 手術医学, Vol. 37, No. 1, pp. 15-20, 2016.
- (16) 吉岡淳, 石山智之, 斎藤大樹, 長澤智一, 松田智美, 保科政美, 土谷順彦 : 通信機器およびスマートデバイスを用いた人工呼吸器遠隔監視システムの開発と検証試験, 医療機器学, VOL. 88, No. 4, pp. 449-457, 2018.
- (17) 多湖ゆかり : 透析室, インфекションコントロール, Vol. 26, No. 9, pp. 937-942, 2017.
- (18) Beaulieu-Jones B, Finlayson SG, Chivers C, Chen I, McDermott M, Kandola J, Dalca AV, Beam A, Fiterau M, Naumann T : Trends and Focus of Machine Learning Applications for Health Research, JAMA Netw Open, Vol. 2, No. 10, pp. e1914051, 2019.