

# 聴覚的感受性に基づく 周波数に着目した医療機器オリジナルアラーム音の基礎検討

和部 崇洋<sup>a,b</sup>, 藤井 昭光<sup>b</sup>, 安晝 佑真<sup>b</sup>, 五十嵐真音<sup>b</sup>, 國司剛典<sup>b</sup>, 清水竜平<sup>b</sup>,  
原田一希<sup>b</sup>, 阿部雄平<sup>b</sup>, 大越啓央<sup>b</sup>, 鈴木愛華<sup>b</sup>, 波田野純<sup>b</sup>, 平田圭祐<sup>b</sup>

## Basic study of alarm sounds of electronic medical devices focusing on frequencies based on auditory characteristics

Takahiro Wabe<sup>a</sup>, Akimitu Fujii<sup>b</sup>, Yuma Ambiru<sup>b</sup>, Manon Igarashi<sup>b</sup>, Takanori Kunishi<sup>b</sup>,  
Ryuhei Shimizu<sup>b</sup>, Kazuki Harada<sup>b</sup>, Yuhei Abe Hiroteru Okoshi<sup>b</sup>, Aika Suzuki<sup>b</sup>, Jun Hatano<sup>b</sup>, Keisuke Hirata<sup>b</sup>

### Abstract

Incidents and accidents related to alarm sounds of electronic medical devices used in hospitals are increasing every year. It has been reported that the cause is alarm fatigue (including carelessness due to becoming accustomed to the alarms) by the medical staff involved in the hospital department where the total time for the alarming sound exceeds ten hours per day. Alarm fatigue commonly occurs, and responding to alarms and improving the systematic hospital environment are difficult in such situations. As such, in the medical field, countermeasures against these problems are urgently required. Accordingly, the purpose of this study was to make a prototype of an original alarm sound that medical staff can react to even in a hospital environment where alarm fatigue occurs or where it may occur. The alarm sound of medical device is specified by JIS, but in order to draw more attention, in this study, we prototyped an alarm sound based on auditory sensitivity such as maximum audible frequencies and unpleasant audible frequencies. From a questionnaire given to 85 people, we selected notable maximum audible frequencies (3kHz, 4kHz, 4.5kHz, 5kHz, 5.5kHz) and unpleasant audible frequencies (11kHz, 12kHz, 13kHz, 14kHz, 15kHz) and prototyped the original alarm sound. A questionnaire and an electroencephalograph were used to evaluate the original alarm sound. As a result, we were able to prototype an original alarm sound that attracts more attention than the existing alarm sound.

**Keywords** : Medical device alarm sound; Alarm fatigue; Maximum audible frequency;  
Discomfort audible frequency; Auditory characteristics

Received November 25, 2021; accepted February 1, 2022

---

a Teikyo University of Science, Department of Life & Health Sciences, Faculty of Life & Environmental Sciences, 2-2-1 Senjyusakuragi, Adachi-ku, Tokyo, 120-0045, Japan

b Tokyo college of Medico-Pharmaco Technology, 2-11-1 Higashikasai, Edogawa-ku, Tokyo, 134-0084, Japan

a 帝京科学大学 生命環境学部生命科学科 (〒120-0045 東京都足立区千住桜木 2-2-1)

b 東京医薬専門学校 (〒134-0084 東京都江戸川区東葛西 6-5-12)

## 1 緒言

医療事故の報告件数は年々、増加の一途を辿っている<sup>1)</sup>。そのなかで、病院で用いられる電子医療機器に関するアクシデント・インシデントも発生件数も伸びている。電子医療機器は、生理学的モニタリング、生命維持管理装置、治療機器と多岐に渡って医療に関わっているため、事故防止措置は高いレベルで施されている。そのなかの一つに、異常事態を知らせるアラームが存在する。反面、アラーム音による医療事故（インシデントも含む）は、頻繁に発生しているのが現状である。原因としては、アラーム音の見過ごしがあり、緊急事態への対応を遅らせてしまう<sup>2)</sup>。アラーム見過ごしが発生する理由としてはアラーム発生時間が1日の43.7%にもなるような集中治療室でのアラーム疲労（アラームへの慣れによる不注意も含む）によるものだと考えられている<sup>3)</sup>。アラーム疲労とは、過度のアラームが鳴る環境（一種の騒音下）を経験した結果として、医療従事者のアラームへの応答時間の延長や、アラームに対する応答率の低下が発生することを指す。アラーム疲労になるのは一般的であり、病院環境が深く関わっていると言われている。日頃より余りにも時間的に多すぎるアラームに医療スタッフの感覚が麻痺することが原因だとされている。注意するにも、アラーム疲労がおこるような状況では、アラーム対応が極めて難しいとされ、アラーム疲労を組織的に軽減する研究もなされている<sup>4,5)</sup>。しかし、組織的に病院環境の改善は、即座に行うには難しく、医療現場において、これらの問題への対策が急務で求められている。そこで、本研究で着目したのがアラーム音の改善である。アラーム音は、J I Sにより規定されている。

JISには、アラーム信号の周波数範囲（200 Hz～5 kHz）について、推奨範囲（500 Hz～3 kHz）について記されている。また、大きな病棟のように、遠距離からでもアラーム信号が聞こえる

必要がある場合の周波数（1 kHz 以下）や、障害物又は間仕切りがある場合（500 Hz 以下）などの推奨周波数範囲も示されている<sup>6)</sup>。しかし、JIS 規格の基となった IEC 規格については識別が難しいなどの報告もされているため<sup>7,8)</sup>、必ずしも JIS 規格のアラーム音が上記の諸問題により、気づき難くなった場合に有効的とは言えない。そこで、本研究では、アラーム疲労が起こるような病院環境においても、既存のアラームより、強制力が強く働き意識がアラームに向くようなオリジナルアラーム音の試作を目的とした。オリジナルアラーム音の試作に際しては、患者の負担になるような音量をあげるといった対処法ではなく、周囲環境の変化が起きても、注意を促せるように聴覚的感受性に基づくオリジナルアラーム音試作を目指した。

## 2 実験方法

### 2.1 最大可聴・不快感可聴周波数の特定

騒音のなかでも、人の注意を引き付ける不快音に着目してオリジナルアラーム音を試作する。注意を引き付ける音として聴覚的感受性に着目して、人が不快に感じる音（不快感可聴周波数）と、人に聞こえやすい音の周波数（最大可聴周波数）を探った。dB で表現される音圧は単純に音（振動）の大きさを表すが、人間には周波数によって音圧が小さくても「大きく聞こえる音」と、音圧が大きくとも「小さく聞こえる音」が存在する。この感覚的な音の聞こえ方をラウドネスという。ちなみに、赤ん坊の泣き声や、女性の悲鳴、家電製品は 2 kHz～4 kHz の周波数を用いている。不快感可聴周波数と、最大可聴周波数を探るために可聴領域の周波数である 20 Hz～20 kHz の間で周波数を 30 段階に分けて、模擬アラーム音を発生させ、85 名に聞き取り調査を行った。聞き取り調査には、アンケートを用いた。聞き取り調査の環境は Fig.1 の通りである。音源（スピーカー）から 70cm

離れた場所に椅子を置き、耳と音源の高さが同じになるように椅子の高さを調整した (80 cm). 測定時には、院内を想定しているので、騒音を別のスピーカーから流した. 騒音は院内の雑然とした状況時に測定した音圧と同じ約 60dB として、アラーム音源は 75dB とした. 再生にはフリーソフトの Audacity を用いた. なお、JIS を参考に、強度の基準を 20 $\mu$ Pa としている.

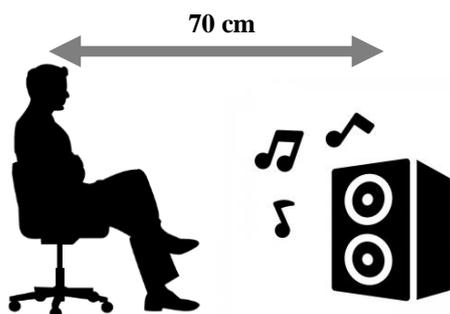


Fig.1 Interview survey environment

## 2.2 最大可聴・不快感可聴周波数を組み合わせたオリジナルアラーム音試作

アラームには様々な種類の音が扱われているが、パルス音は記憶、識別が容易でないと報告されている<sup>9)</sup>. そこで、本研究では、周波数の合成ソフトを用いて、メロディを作成する. 本実験では、合成ソフトの上限である三種類の周波数を一音 (和音) として、三音組み合わせでオリジナルアラーム音 (メロディ) とした. メロディ (時間的に連続して的变化する音) はメッセージ性を持たせることができ、パルス音と比較すると印象に残りやすいことを、科学的に証明されているわけではないが、作曲家たちは経験的に理解している. 2.1 節同様に 85 名にアンケートを取り、より注意を引く和音を特定した. 三種類の周波数には、最大可聴周波数を一種類、不快感可聴周波数を二種類で構成したため、組み合わせた周波数は 50 種類以上となった. 合成ソフトには、Wave Gene Ver1.5 sz0 を用いた. 周波数の組み合わせにはフリー

ソフト (再生: Audacity) を使用してアラーム音を作成した.

## 2.3 既存のアラーム音との比較

2.2 節で特定したオリジナルアラーム音と既存のアラームを比較した. 院内で使用頻度の高いシリンジポンプ TE-351 (テルモ株式会社)、重要パラメータ付き多項目モニタ (ベッドサイドモニタ) CSM-1701 (日本光電工業株式会社) を比較対象とした. 評価には脳波を用いて、測定には脳波計 EEG-1250 (日本光電工業株式会社) を使用した. 仕様は以下の通りである (Sensitivity=10 $\mu$ V, Time Constant=0.1s, High pass Filter=35 Hz). 脳波は、ストレス波とも呼ばれている  $\beta$  波までを対象とした. なお、HF は余裕を持って 35 Hz とした. 脳波測定に使用するヘッドギアは、AE-120A (日本光電工業株式会社) を用いた. 脳波のチャンネル数は 10 チャンネルである (F3-OV, C3-OV, O1-OV, T3-OV, F4-OV, C4-OV, O2-OV, T4-OV, F3-T3, T3-O1, F3-C3, C3-O1, F4-T4, T4-O2, F4-C4, C4-O2). 被験者は、既存医療機器のアラーム音を聞きなれていない 12 名とした.

## 3 結果及び考察

### 3.1 最大可聴・不快感可聴周波数の特定

アンケート結果を Fig.2 に示す. 緑のグラフを最大可聴周波数として、黒いグラフを不快感可聴周波数とした. 特にアンケートの結果が高い周波数を赤い丸で括った. さらに、上位 5 つの周波数を Table1 に記した. Table1 の赤字はアンケート結果が最も高い周波数である.

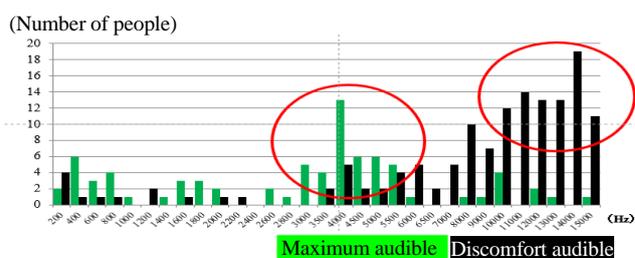


Fig.2 Questionnaire results on maximum audible and unpleasant audible frequencies

Table1 Questionnaire results on maximum audible and unpleasant audible frequencies (top 5)

Maximum audible (kHz)	3	4	4.5	5	5.5
Discomfort audible (kHz)	11	12	13	14	15

### 3.2 オリジナルアラーム試作のための周波数組み合わせ特定

Table1 からの周波数の組み合わせ 50 種類に対してアンケートを取り，注意を引く上位 3 音が Table2 の通りとなった。

Table2 Top3 sound combinations based on Table1

	1	2	3
Maximum audible frequency	4	5	4.5
Discomfort audible frequency①	11	14	1.4
Discomfort audible frequency②	13	15	1.5

(kHz)

### 3.3 既存のアラーム音との比

Table2 の 3 音を Fig.3 の通りに組み合わせてオリジナルアラーム音とした。それぞれのアラーム音は 0.20s 流し，各アラーム音に 0.05s の間隔を設けて，これを繰り返した。

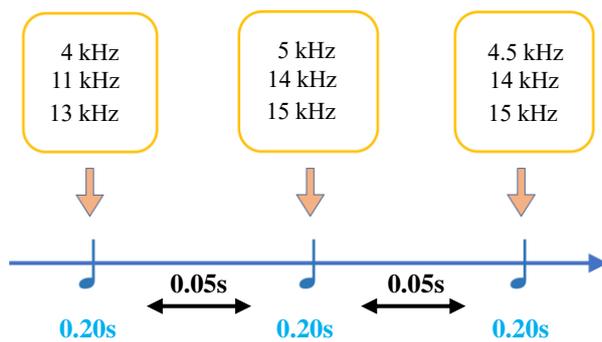


Fig.3 Original alarm

リラックス時，シリンジポンプ，ベッドサイド，オリジナルの各アラーム音の脳波の振幅と周波数を測定した。測定結果の一例を Fig.4 に示す。また，それぞれの平均値を Table3 に記す。

振幅 ( $\mu\text{Vp-p}$ )，周波数 (Hz) とともに既存の医療機器のアラーム音よりオリジナルアラームが高くなっており，周波数においては， $\beta$  波の周波数帯域に入っている。オリジナルアラームが聞こえやすく，注意が向きやすいアラーム音であると考えられる。

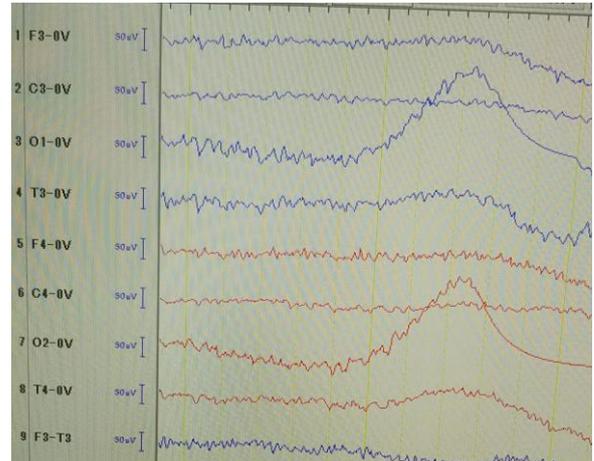


Fig.4 An example of measurement results (brain waves)

Table3 Comparison of original alarm and existing medical device alarm

	Relax	Syringe pump	Bed side monitor	Original alarm
Amplitude( $\mu\text{Vp-p}$ )	24.5	29.5	33.6	40.2
Frequency(Hz)	6.4	10.6	13.38	16.8

## 4 結言

JIS による規定を考慮せず，オリジナルアラーム音を試作した。聞き取りや脳波図から，騒音化で既存のアラーム音よりオリジナルアラーム音が注意を引くことが分かった。本報告では，病院内の環境を模擬したが，今後は，実際にアラーム疲労の医療従事者からの評価を基に，オリジナルアラームの改善を行う。

### 参考文献

- 1) 中村美香，近藤浩子，岩永喜久子，今井裕子，杉田歩美，須川美枝子，永井弥生，北

- 関東医学会, 66 (4), 279 (2016).
- 2) 岩井完, 浅田真弓, 梶谷篤, *日外会誌*, 117 (6), 536 (2016).
  - 3) 中村恭子, 廣瀬稔, *Clinical Engineering*, 9 (22), 859 (2011).
  - 4) R. J. Keith, J. P. Bliss, *APSF Newsletter*, 34 (1), 5 (2019).
  - 5) K. C. Graham, M. Cvach, *Crit Care*, 19, 28 (2010).
  - 6) 日本工業標準調査会, *JIS T 0601-1-8:2017 医用電気機器—第1部: 基礎安全及び基本性能に関する一般要求事項* (2017).
  - 7) A. N. Wee, P. Sanderson, *Technology Computing and Simulation*, 106 (2), 501 (2008).
  - 8) P. Lacherez, E. L. Seah, P. Sanderson, *Human Factors*, 49 (4), 637 (2007).
  - 9) Y. K. Leung, S. Smith, S. Parker, *Proceedings of 4th International conference of auditory display, ICAD* (1997).