

# 院内利用の汎用人工呼吸器の アラーム複数伝送の試み

中村昭則<sup>1)2)†</sup> 吉川健太郎<sup>3)</sup> 滝沢正臣<sup>4)</sup>

IRYO Vol. 72 No. 12 (499-504) 2018

## 要 旨

院内または在宅で人工呼吸器を利用する際に音響と光だけによるアラーム通報では、見逃し聞き逃しなどによるトラブルが生じうる。そこで、われわれは院内外で人工呼吸器のアラームおよび機器動作状況の遠隔伝送システムの開発に取り組んできた。院内利用の汎用人工呼吸器 Covidien 社製 HT70-Plus のアラームおよび機器信号のフォーマットを元に、保守用シリアル通信 (RS232C) コネクタに小型ゲートウェイを接続し、院内専用無線 LAN を経由してスタッフステーションに設置したモニターへの表示・通報を行った。さらに、ゲートウェイをナースコール用コネクタにも接続して、デスクトップ型親機および看護師携帯 Personal Handy-phone System (PHS) に伝送した。気管内吸引などで計画的かつ一時的な回路外れにより発生しうるアラーム信号については、アラームが30秒間連続して発生した場合にのみ伝送することでアラーム疲労をおこさないよう工夫した。5カ月間の試験運用では病棟スタッフへの新たな負担増や接続機器の異常はみられなかった。また、並列して接続したナースコール回線への障害も生じなかった。一方、廊下のアンテナとゲートウェイ間の電波が患者のケアや検査のための作業中に一時的に遮断された場合、自動的に接続回復ができるようソフトウェアの改良を行った。30秒間のアラーム遅延伝送はアラーム疲労に対し有効と思われるが、在来機器のアラームとの混在のためにアラームフラッドが深刻化する可能性もあり、将来的にはアラーム発生機器類の一元管理が必要と考えられる。

キーワード 人工呼吸器, アラーム, 遠隔伝送, 院内利用

1) 国立病院機構まつもと医療センター 神経内科, 2) 信州大学医学部 第三内科, 3) 信州大学医学部 小児医学教室, 4) 信州大学医学部附属病院 遠隔診療室 †医師  
著者連絡先: 中村昭則 国立病院機構まつもと医療センター 神経内科 〒399-8701 長野県松本市村井町南2丁目20番30号  
e-mail: anakamu@shinshu-u.ac.jp

(平成30年2月16日受付, 平成30年9月14日受理)

In-hospital Trials for Alert Transmission of Mechanical Ventilators

Akinori Nakamura<sup>1)2)</sup>, Kentaro Yoshikawa<sup>3)</sup> and Masaomi Takizawa<sup>4)</sup>, 1) NHO Matsumoto Medical Center, 2) Third Department of Internal Medicine, Shinshu University School of Medicine, 3) Department of Pediatrics, Shinshu University School of Medicine, 4) Division of Telemedicine, Shinshu University Hospital

(Received Feb. 16, 2018, Accepted Sep. 14, 2018)

Key Words: mechanical ventilator, alert, transmission system, in-hospital trial

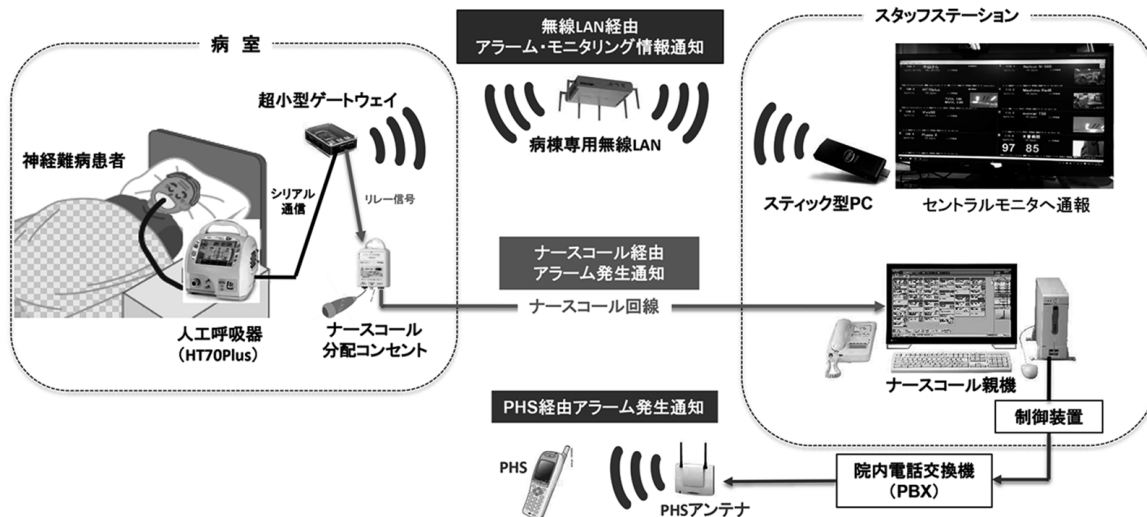


図1 院内利用の人工呼吸器のアラーム通報複数伝送システムの概要

## はじめに

現在、医療機器は高機能化および小型化され、病院利用の機器の在宅への導入が進み、人工呼吸器においても在宅療養中の患者での利用が増えている。人工呼吸器は生命維持装置であることから機器の異常やアラーム発生時には迅速な対応と安全確保が求められる。このために、医療関係者や介護者家族に少なからず心的ストレスをもたらす。現在の人工呼吸器に係る異常を示す際に発生するアラームは音響と光であり、機器から離れた場所では気づかれるのが遅くなるという問題があり、しばしばトラブルの原因になっている<sup>1)</sup>。

現在、ナースコール回線と接続が可能な人工呼吸器は存在しているものの、接続により吸引などの処置の際にも頻繁にナースコールが発生し、業務の妨げになってしまうために一般に利用されていない。また、各機器の製造メーカーが異なっており、接続についてはメーカー側が責任を取らない立場をとっていることや、人工呼吸器とナースコールとの接続を義務付ける指針やガイドラインは存在していない。実際に、患者が利用するナースコールの利用との差別化が行えないことも普及が進まない要因になっていると思われる。

そこで、これらの問題の解決の糸口として、開発メーカーから人工呼吸器の保守点検用シリアル通信ポートから送出されるアラームや機器動作にかかる信号情報を開示してもらい、信号を複数の関係者の通報するシステムの開発を進めてきた<sup>1)-4)</sup>。在宅利

用の人工呼吸器から伝送する場合は、インターネット回線の利用とアラームの種別やアラームを受け取った際に伝送された情報を解析するための専用ソフトウェアの開発が必要である。また、アラーム情報を介護者家族、訪問看護ステーション、医療機器管理会社および医療機関などへの伝送を行うために専用サーバーの構築も必要である<sup>1)</sup>。一方、院内利用であれば一般ネットワーク回線に比べセキュリティの高い専用回線を用いることが可能である上、サーバーなどの複雑なシステムを構築する必要性もない。本研究では、院内利用の人工呼吸器のアラーム通報について、従来の音響と光に加え、ナースコールデスクトップ型親機（ケアコム社製）への伝送と院内専用無線LANを経由したスタッフステーションへの伝送（通報および表示）による院内複数台の人工呼吸器アラーム2系統同時通報システムを開発し（図1）、病棟での実証実験を行った。

## 方法

機器のアラームおよび動作状況に関する信号フォーマットが提供された人工呼吸器HT70-Plus（Covidien社製）を装着した神経難病患者4名を対象とした。人工呼吸器の保守用に設けられたシリアル通信（RS-232C）コネクタに超小型ゲートウェイを接続した。超小型ゲートウェイは、シングルボードコンピューターRaspberry Pi 3<sup>®</sup>（Raspberry Pi財団）にリレー駆動回路を搭載させたものを用いた。OSはLinux<sup>®</sup>（Raspbian）を用い、ソフトウ

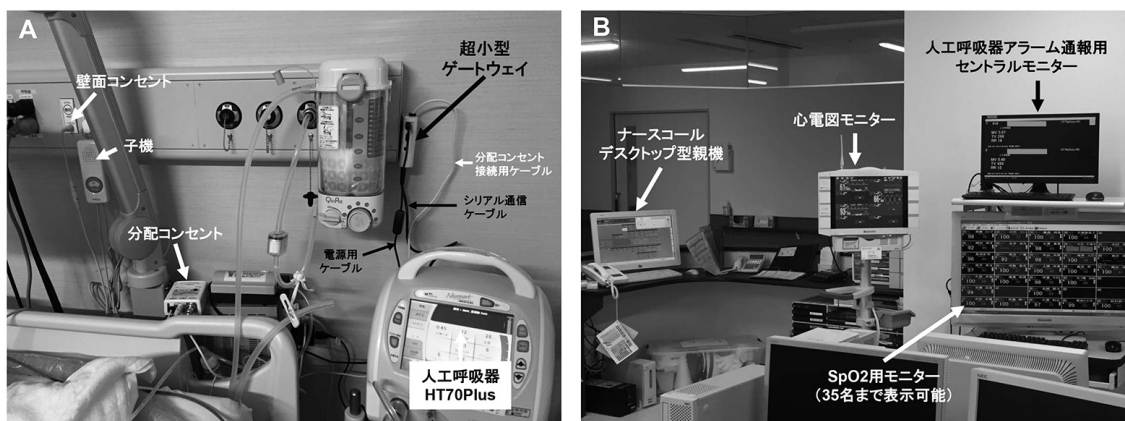


図2 アラーム通報システムの設置状況

- A：ベッドサイドにおける人工呼吸器（HT70-Plus）、小型ゲートウェイ、ナースコール、および分配コンセントの設置状況  
 B：スタッフステーションにおけるナースコールデスクトップ型親機、人工呼吸器通報用セントラルモニター、心電モニター、パルスオキシメーターの設置状況

エアは汎用プログラミング言語 Python を用いて開発したものを設置した<sup>4)</sup>。ゲートウェイのリレー出力を、病室壁面のナースコール子機コンセントに分配コンセントを介して接続した。これによりアラーム発生をスタッフステーションにあるナースコールデスクトップ型親機に表示させるとともに、親機と連動する看護師携帯用 PHS にも伝送させた。吸引等で頻回に発生するアラーム音抑制のため、アラームが30秒間連続して発生した場合にのみ伝送するように、ゲートウェイ内で伝送遅延を行った。また、アラームや機器動作状況を、同じゲートウェイから病棟内無線 LAN を介して、スタッフステーションに設置したマルチモニターへ伝送させた（図2）。マルチモニターはスティック型 Windows PC を用い、モニタリングアプリケーションは Microsoft Visual Studio<sup>®</sup>(Visual C++) を用いて開発し、スタッフステーションに設置した。運用は2017年10月から連日24時間行い、約5カ月間にわたって伝送安定性や不具合について検討した。

また、5カ月間の運用において、病棟スタッフ41名（看護師32名、介護福祉士資格を有する療養介護専門員7名および介助員2名）に対して、本システムの運用中のアラーム疲労の増加を含めた問題点および利点についてヒアリングを実施した。

本研究は、独立行政法人国立病院機構まつもと医療センターの倫理審査委員会の承認を得た後、神経内科病棟スタッフへ運用方法を説明し、患者家族への同意を文書で得て実施した。

## 結 果

### 1. ナースコール親機および PHS におけるアラーム発生および機器異常内容の確認

ナースコール経由で、複数台の人工呼吸器からのアラーム発生をセントラルデスクトップ型親機および看護師携帯用 PHS に通知することができた。機器のアラーム通報はナースコール親機の音色や表示色を変えることにより一般のナースコールと区別することが可能であった。一方、PHS 利用ではアラーム発生時に部屋番号の表示のみとなり、一般利用とは区別をつけることはできなかった。

また、無線 LAN 経由で複数台の人工呼吸器のモニタリング情報を1枚のパネル上で同時かつリアルタイムに表示すること、アラーム発生時には機器異常の内容を表示することが可能であった（図3）。

### 2. 人工呼吸器およびナースコール機器、PHS システムへの影響

実運用において人工呼吸器やその他の医療機器に新たに生じた不具合はなく、さらに並列して接続したナースコール回線およびシステムにも不具合は認められなかった。

### 3. 看護師など病棟スタッフの負担について

病棟スタッフ41名に対するヒアリングでは、アラーム疲労の増大や医療処置・ケアなどの業務への障害が生じたとの意見はみられなかった。一方、従来

より人工呼吸器装着者については、スタッフステーションに設置されたパルスオキシメーターが発するアラーム音での対応であったが、人工呼吸器のアラーム遠隔通報により注意喚起が促され、迅速に対応しようという意識を新たに持てるようになった、との意見がほぼ全員から寄せられた。

#### 4. 無線 LAN アクセスポイントへの電波の遮断事象

ゲートウェイから廊下天井に設置されている無線 LAN アクセスポイントへの電波が、看護師や介護士のケア作業などにより遮断される場合があり、ゲートウェイのオンボード無線 LAN 機能の電波強度不足が原因と考えられた。

以上から人工呼吸器が発生するアラーム音に加えて、ナースコール回線を介した通報、病棟内無線 LAN を介したマルチモニターでの表示・通報が安全かつ安定的に行われ、複数台の人工呼吸器から同時期のアラームと動作情報の伝送に成功した。

---

#### 考 察

---

5カ月間にわたって4台の人工呼吸器にゲートウェイを接続して伝送実験を行ったが、人工呼吸器やナースコールシステムへの障害はなかった。また、ヒアリングによると、看護師など病棟スタッフに対するアラーム疲労の増大や業務への障害は生じていなかった。このことから、本システムの院内における安全利用は可能であると考えられる。今回の運用期間の中で計4回の無線 LAN の接続の遮断がおこっていたが、原因としてケアや検査などによりゲートウェイから廊下への電波の遮断によるものであった。ゲートウェイの一時的な通信遮断により逐次、手動による再起動が必要であったことから、切断時の自動再接続およびソフトウェアを自動再起動させるように改良を行った。また、遮断に対しては USB 無線 LAN アダプタを利用するなどにより電波強度を上げるなどの工夫も必要と考えられる。無線の安定利用のためには事前に通信環境の整備および確認が必要であり、本システムの在宅利用の際にも留意すべき課題である。

今回の検討から、人工呼吸器のアラームおよびモニタリング情報をリアルタイムにモニタリングすることで、アラームの種別が離れたところでも即時に

わかるなど院内用としても有用なシステムと思われるが、引き続き長期運用を行い、PC に保存されるシステムログを解析することにより発生したアラームの種別や頻度、対応までにかかる時間や電波遮断の発生頻度の調査、看護師等の病棟スタッフの心的負担に関するアンケート調査を行い、本システムの有効性、課題などについて検討を行う予定である。

今回の試みでは問題は発生しなかったが、PHS へのアラーム伝送では部屋番号のみが表示され一般利用とは見分けがつかないため、通常利用のナースコールと医療機器の異常を同じレベルで受け取られてしまい、対応の遅れにつながってしまう危険性があることから何らかの対策が必要である。将来的には PHS の表示方法を工夫するか、その他のモバイル端末の利用を検討したいと考えている。

アラーム通報が増えることはアラームフラッドに拍車をかけてしまい、アラーム疲労が深刻化する可能性がある。今回の検討では、痰の吸引などで回路を一時的に外す場合には、すぐに通報はせず30秒間のアラーム遅延伝送によりアラーム疲労を少なくできるよう工夫したため、看護師の心的負担が増えなかった可能性がある。アラーム通報は安全確保の上で重要であるが、アラームフラッドおよびそれともなうアラーム疲労への対策は必要である。そこでわれわれは、人工知能 (AI) 技術により本課題について解決を試みたいと考えている。具体的には、病棟フロアのすべての生体モニター機器が発するアラームについては、ソフトウェアにより個々のアラームレベルを AI により自動判別して適切に通報するシステムである。このためには、各社各様になっている医療機器の外部出力フォーマットが公開されるか、国際的な統一規格とすることによりすべての機器が共通した意味の情報を外部伝送できるようにすることが必要である<sup>5)</sup>。在宅生体モニタリング機器情報については遠隔伝送を行うための医療機器開発における国際的なガイドラインの策定が求められる<sup>6)</sup>。

われわれは、人工呼吸器 HT70-Plus 以外にシリアル外部出力機能を持つ Puppy-X (オリジン医科工業製) のアラーム信号フォーマットの提供を受け、インターネット経由でリアルタイムにアラーム情報を遠隔伝送することに成功している<sup>1)-3)</sup>。現在、在宅利用の人工呼吸器についてもアラーム情報の伝送実験を開始している。今後は、医療機器の遠隔アラーム通報について、その基盤となる国際的なガイド

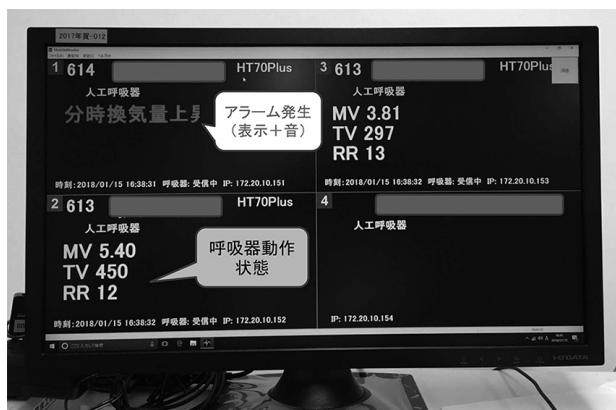


図3 人工呼吸器アラーム通報用マルチモニタリングの実際

向かって左上段の機種ではアラーム音発生およびアラーム情報を赤字で表示している。

MV: Minute Volume (分時換気量), TV: Tidal Volume (一回換気量), RR: Respiratory Rate (一分間の呼吸回数)

ラインの策定や、院内外で利用可能なフレームワークについても検討していきたいと考えている。

## ま と め

院内利用の複数台の人工呼吸器において、アラーム発生をナースコールとPHSへ通知し、また病棟内無線LAN経由でアラーム内容と動作状況のマルチモニタリングを行った。引き続き院内での運用を行いながら、その問題点などを把握・集約し、安全安心利用のシステムとして展開したい。また、新たな機器やシステムが増えることで、医療スタッフや介護者のアラーム疲労が問題になることから、メーカーや機種に依存せず、すべての医療機器を病棟フロアで一元管理し、AIを用いて不必要なアラーム

ムを抑制する新たなシステムの開発が望まれる。このためにはデータの外部出力に関しては在宅を含め異機種が混在した環境でも接続可能であることが理想であり、各社の機器出力フォーマットのガイドライン策定の実現を強く望みたい。

〈本研究は、平成26年度厚労省科学研究費医療機器開発推進研究事業、平成27年、28年度日本医療開発機構AMED医療機器開発推進事業の委託を受けて実施した。〉

著者の利益相反：本論文発表内容に関連して申告なし。

## 【文献】

- 1) 中村昭則, 滝沢正臣, 宮崎大吾. 在宅医療のための人工呼吸器の遠隔監視の試み. 日遠隔医療会誌 2014; 10: 163-5.
- 2) 中村昭則, 滝沢正臣, 宮崎大吾ほか. 在宅人工呼吸器の遠隔監視, アラーム通報の試み. 日遠隔医療会誌 2015; 11: 142-5.
- 3) 中村昭則, 滝沢正臣, 宮崎大吾ほか. 人工呼吸器のアラーム伝送の試み (第3報). 日遠隔医療会誌 2016; 12: 90-3.
- 4) 吉川健太郎, 滝沢正臣, 中村昭則. 現用人工呼吸器のアラーム伝送の試み (第1報). 日遠隔医療会誌 2016; 12: 98-101.
- 5) 滝沢正臣, 中村昭則, 吉川健太郎ほか. 在宅利用人工呼吸器開発のための国内調査. 日遠隔医療会誌 2016; 12: 94-7.
- 6) 中村昭則. 在宅生体モニタリング機器情報遠隔伝送のためのガイドライン策定分科会報告. 日遠隔医療会誌; 12: 66.

---

## In-hospital Trials for Alert Transmission of Mechanical Ventilators

Akinori Nakamura, Kentaro Yoshikawa and Masaomi Takizawa

### Abstract

When using an artificial ventilator either in-hospital or at home, unawareness of an alarm sound or light could cause some critical issues. Thus, we have been developing a remote transmission system for ventilator alarms and operating conditions outside the hospital or home. On the basis of the original formatting of alarms and information of artificial ventilator HT 70-Plus (Covidien Co. Ltd.), data were transmitted through a device gateway connected to a serial connector (RS 232 C) for maintenance via a dedicated hospital Wi-Fi system and then displayed on the monitors at the staff station. The device gateway was also connected to the nurse call system, and the alarm was transmitted on the desktop unit at the staff station and nurse cell Personal Handy-phone System (PHS). To avoid alarm fatigue, we designed the system to generate an alarm only when the alarm occurred continuously for  $\geq 30$  seconds due to planned or temporary circuit disconnection due to intra-tracheal aspiration. No additional burden to the ward staff or connectivity abnormalities were observed in the pilot trial for 5 months. In addition, no obstacle was found with the nurse call line connected in parallel. On the other hand, the connection between the device gateway and hallway antenna was interrupted during patient care or examination; therefore, we refined the software to automatically recover the connection. The 30-second alarm delay transmission was useful against alarm fatigue; however, the alarm flood can be aggravated with the conventional equipment alarms. In the future, an alarm generating equipment that can be centrally managed will be needed.