

電子トリアージのための医療従事者情報端末の提案

長橋 健太郎^{†1} 栖 関 邦 明^{†1}
小 嶋 洋 明^{†1} 岡 田 謙 一^{†2,†3}

災害時救急救命活動において緊急度が高く助かる見込みのある傷病者をトリアージ（選別）することが行われている。従来のトリアージ活動において電子化がなされていないため医療従事者が赤タグ負傷者の搬送順を決められないことが問題となっていた。そこで我々は CREST プロジェクト「災害時救命救急支援を目指した人間情報センシングシステム」の中でトリアージの電子化に取り組んできた。しかし、現状では医療従事者間の情報のやりとりはトランシーバを介しているため、傷病者の容態悪化や搬送情報などが入っていてもその情報をうまく利用できずに見過ごしてしまうことが考えられる。また、多数の傷病者が発生するために傷病者の取り違いによる誤った情報入力が起こるといった問題がある。本研究では、無線センサネットワークを利用し、PC に集約された複数の傷病者情報、搬送情報などを医療従事者情報端末で提示し、傷病者の取り違い防止のための RSSI を利用した距離に応じた入力制限可能なシステムを提案した。システムの機能検証用にバイタルサインジェネレータを用いて、急変情報検知の実験、搬送情報に関する実験の 2 つを学生を対象に実施し評価したところ、医療従事者情報端末によって急変情報・搬送情報を検知する時間を大幅に短縮し、使用者にとって負担の少ない情報提示の仕方であることを確認した。

A Proposal of Paramedic Mobile Terminal for Electric Triage

KENTARO NAGAHASHI,^{†1} KUNIAKI SUSEKI,^{†1}
HIROAKI KOJIMA^{†1} and KEN-ICHI OKADA^{†2,†3}

In this research, we proposed new system using a wireless sensor network which compares injured person based on vital signs and the information of the wound, and then classify person by triage evaluation by the constant standard and calculating how to prior to transportation in a person group classified in the same color automatically. We evaluated the proposed system with the human vital signs generator which we made for the system evaluation called “vital signs generator”. The subjects were students. This evaluation shows the system acquired vital signs which changed in real time and to be able to calculate the

person whom vital signs suddenly changed. This system can find the disabled who needs emergency for treatment. By using this system, acceleration of the activities is expected.

1. はじめに

JR 福知山線脱線事故のような人的ミスによる大規模な事故では、同時に多数発生した負傷者の治療の優先順位の判定、医療救護施設への迅速かつ確実な搬送、搬送先の医療機関における適切な医療の一連の 3 つの活動が重要となる。このような背景を受け日本では列車事故といった大規模災害時に被災地に迅速に駆けつけ、救急治療を行うための専門的な訓練を受けた DMAT と呼ばれる医療チームが組織されている¹⁾。多くの傷病者が発生したときその中から早期に治療を要する重症患者を発見し適切な治療を受けさせることで、限りある医療資源を効率良く利用しより多くの人命を救うことができる。このために緊急度が高く助かる見込みのある傷病者をトリアージ（選別）することが災害時救急救命において行われており、各地方自治体においてトリアージに関するマニュアルが作成されている²⁾。トリアージを行うことにより避けられた死を大幅に減らすことができるが、数十人の傷病者が発生するような大事故において利用される場合課題が残る。電子化がなされていないため傷病者の急激な容体の悪化などをリアルタイムで把握ができないことなどがあげられる。

我々は CREST プロジェクト「災害時救命救急支援を目指した人間情報センシングシステム」において、トリアージの電子化に取り組んできた³⁾。本研究では、無線センサネットワークを利用し、PC に集約された複数の傷病者情報、搬送情報などを提示し、さらに傷病者の取り違い防止のための RSSI を利用した距離に応じた入力制限可能な医療従事者情報端末を提案する。本提案端末により、従来の紙タグではできなかったトリアージに必要な情報をリアルタイムで見ることが可能となるため、医師による治療の効率化が実現できると考える。その後、提案に基づいた試作機を実装し、試作機の有用性を確認するための実験を 2 つ実施する。2 章に救急救命活動におけるトリアージを概観し、3 章に本研究における提案

^{†1} 慶應義塾大学大学院理工学研究所
Graduate School of Science and Technology, Keio University

^{†2} 慶應義塾大学理工学部
Faculty of Science and Technology, Keio University

^{†3} 独立行政法人科学技術振興機構 CREST
Japan Science and Technology Agency, CREST

を述べる．4章に提案に基づく実装に関して記し，5章でシステムの有用性確認のための実験について記す．

2. 救急救命時の医療活動

2.1 トリアージとは

大事故が起きるとその地域の自治体を中心となり，救急隊などに現場への出動要請を出す．そして救急隊により緊急度や重症度で傷病者を分類するトリアージが行われる．日本では傷病者の緊急度や重症度を4段階に分類している．表1に一般的なトリアージカテゴリを示す．災害時の救急救命現場ではできるだけ多くの傷病者の救助を行うために，1人の傷病者に対しトリアージを1分以内で行うことが望まれる．日本では迅速にトリアージを行う方法としてSTART法が採用されている^{4),5)}．紙製の4色のマーカ付きトリアージタグを傷病者に取り付け，不要な色の部分を切り取り，取り付けた傷病者の優先度を表す色を先端に残すことにより判断結果を分かりやすくしている．

災害が起きた場合，医療従事者が迅速に被災地に駆けつけ，トリアージや医療活動の補助，後方支援を行う．災害が起きたときの医療従事者の活動の流れを以下に示す．

- (1) トリアージポスト(トリアージのために用意されたエアテント)に傷病者を搬送．
- (2) トリアージポストにおいて医療従事者がトリアージを行いタグの色を決定．
- (3) トリアージされた傷病者をそれぞれの色のエアテントに搬送．
- (4) 各タグの色に応じて搬送する医療機関，搬送する順番を決定する．
- (5) 決定に基づいて医療機関に搬送する．

2.2 トリアージに求められる要件

現在日本では紙製のトリアージタグを利用しているため，使用法が比較的簡易であるが，

表1 トリアージカテゴリ
Table 1 Triage category.

色	優先度	処置
赤 (1)	1	生命を救うため直に処置を必要とする者 例) 大出血, ショック症状の傷病者
黄 (2)	2	多少治療の時間が遅れても生命に危険がない者. 基本的には, バイタルサインが安定している者.
緑 (3)	3	上記以外の軽易な傷病で殆んど専門医の治療を必要としない者.
黒 (0)	4	既に死亡している者. 心肺蘇生を施しても蘇生可能性のない者.

傷病者の容態が変化すると書き直しやタグ色の変更にともない切り取りが必要になる．また傷病者の容態の把握がトリアージポストではタグの色を決める1回，各色のテントでも数回程度だと考えられる．このため紙タグではリアルタイムで傷病者の生体情報を把握できないため，傷病者の急変に気づくのが遅れるということもあげられる．さらに大事故の場合多数の傷病者が発生するため，医療従事者は優先すべき傷病者を見つけにくいということや，赤色タグの傷病者など緊急を要する傷病者の居場所や傷病の急変が把握できないという問題点がある．また搬送の課題として，災害が発生した初期段階と時間が経過した段階では搬送に使える車両やヘリコプタの台数は異なるため，利用できる搬送資源をつねに把握し分配する必要がある．したがって，トリアージ作業を支援するためには，(a) 紙製のタグの代わりとなる，リアルタイムに傷病者の容態把握が可能な機材の使用，(b) 医療従事者にリアルタイムに収集した傷病者情報を提示し治療活動を支援する機器の2つの要件がある．

2.3 電子医療機器を用いた活動支援

現在のトリアージタグは紙製であることから，トリアージを実施した際に最優先となる赤タグの傷病者の居場所や病状の急変が把握できないことがあげられる．近年では，世界各国で災害救急救命において利用できるRFIDやセンサを利用したシステムの研究が進められている¹³⁾．カリフォルニア大学では，アクティブRFIDを活用した傷病者の位置把握の実証実験を行っている¹⁴⁾．現在の救急救命現場では，人員に限られるため傷病者の急激な病状の悪化などを把握ができないという問題がある．これを解決するために，ハーバード大学とボストン大学では，各種のセンサを用いて傷病者の心拍などの情報を情報端末に送信させて災害時の医療活動に役立たせている．一方国内でもトリアージタグにRFIDタグを埋め込み，救急隊の持つ入力端末にモバイルネットワーク機器を用いることで，負傷者の情報収集の自動化を目指したRFIDを利用した救急トリアージシステムを構築し，そのシステムを用いて，80名程度の負傷者を想定した実証実験⁶⁾が行われている．

要件(a)を満たす研究は多数なされているが，RFIDによる生体情報のセンシングなど電子トリアージの一部に関する研究のみで，電子トリアージ全体を通した研究がなされていない点が問題点としてあげられる．また先の要件(b)を満たすものは研究されていない．

以上のことから要件(b)をより具体的にした以下の2つの要件を満たすことで，医療従事者が効率良く傷病者の治療・搬送を行うための医療従事者用携帯端末を提案する．

- (1) 手で所持しているだけで傷病者の生体情報・急変情報，搬送情報など現場の状況把握に必要な情報が取得可能であること
- (2) 傷病者の取り違いを防ぐ傷病者情報の確実な入力方法

3. 電子トリアージのための医療従事者情報端末の提案

3.1 医療従事者情報端末に求められる要件

各テントに運ばれた傷病者は医療従事者によって二次トリアージを実施され、治療優先度の高い者から順に病院へと搬送される。トリアージテントでは病院へ搬送されるということが頻繁に起こるため大変な混乱が想定される。現状では紙タグを用いているため、各医療従事者がつねに傷病者を見ていることができない。そのため、医療従事者が傷病者情報をリアルタイムで把握できる端末が必要であると考えた。そこで、我々はCRESTプロジェクトにおいて共同研究を行っている順天堂大学医学部の協力のもと医療従事者にとって重要な現場の情報をまとめ検討を行った。リアルタイムでの情報把握の利点をいかして、治療に必要な傷病者情報、傷病者を搬送する情報と傷病者が急変したことについての情報などが必要であるとの結果を得た。また、傷病者の情報を取り違えないようにすることについても指摘をうけた。そこで3.2節の現場の状況把握支援において先ほどの要件(1)を満たす要件を、3.3節の傷病者の取り違い防止において先ほどの要件(2)を満たす要件の説明をする。

3.2 現場の状況把握支援

● 傷病者情報

トリアージの際に医療従事者が必要な情報として、傷病者のID、生体情報(脈拍・呼吸・SpO₂、外傷)、傷病者のタグ色、治療優先度、各傷病者のいるテント、傷病者のIn・Out情報、傷病者の急変情報、搬送情報、各テントの傷病者人数があげられる。これらの情報を医療従事者情報端末に表示していく。

● 傷病者のIn・Out情報

傷病者のIn・Out情報とはトリアージポストから何人各テントに運ばれてくるのか(In情報)、誰が病院に運ばれたのか(Out情報)という情報である。トリアージポストから何人新たに傷病者が運ばれてくるのか把握することは救急治療の準備の面などから重要である。また、搬送された傷病者の情報を提示することは不必要な情報が増大し本当に必要な情報が探しにくくなる恐れがある。そのため搬送された傷病者の情報は、できるだけ速やかに提示をやめるようにする。

● 傷病者の急変情報

トリアージにおいて、傷病者の生体情報が急激に変化した際にどれだけ早く応急処置ができるかということが救命の鍵になるため、急変情報を医療従事者に提示することが非常に重要である。本研究では傷病者の急変を黄色・緑色タグの傷病者が赤色タグ相当の

バイタルサインを発生するようになった状態と定義する。

黄色・緑色タグの傷病者は治療が必要であるが時間的に余裕のある傷病者が多い。そのため医療従事者の人数が少なく、容態が急激に悪化した際に医療従事者が気付かない可能性があるため急変情報として医療従事者に提示する。

急変と判定されるバイタルサインのパラメータを以下に示す。

- 脈拍：120回/分以上
- 呼吸：10回/分未満もしくは30回/分以上
- SpO₂：90%未満

● 搬送情報

救急車やドクターヘリなどの到着予定時刻、搬送可能人数の情報が搬送情報である。トリアージではトリアージポスト、各色テントとは別に外部病院や各地方自治体などとの渉外を目的とした本部が設置されることがほとんどである。搬送情報はまずこの本部に携帯電話などを介し伝達される。従来のトリアージでは本部に搬送情報が入ると各テントにトランシーバなどを用いて伝達され、さらに各医療従事者に伝達されていく。医療従事者にとって搬送する傷病者の決定は、各傷病者のバイタルサイン、外傷などを比較し、さらに今後の容態を予想し行う必要があるためある程度の時間が必要である。そのため搬送情報は早い段階で取得できればできるだけ、搬送すべき傷病者を決定する準備ができるため効果的である。

3.3 傷病者の取り違い防止

傷病者の生体情報がホストPCに集約されたことにより、リアルタイムに傷病者の容態を把握・監視することが可能になった。ところが、傷病者の位置が分からないため傷病者確認をするうえでIDを確認するか、実際の傷病者の状態とホストPCの情報を照らし合わせる作業が必要となった。この際、多数の傷病者が存在するため隣接した傷病者の情報と勘違いをしてしまうということが起こると考えられる。そのため、傷病者情報の入力を取り違いを防ぎ、入力したい傷病者に確実に情報を入力できる方法が必要である。

4. 実 装

4.1 想定環境

従来のトリアージでは、傷病者のバイタルサインの遷移を把握することが困難であった。そこで、リアルタイムで傷病者の経過を観察するために、傷病者への生体情報センサの装着や自動的にトリアージを行う電子機器の設計が必要であると考えた。

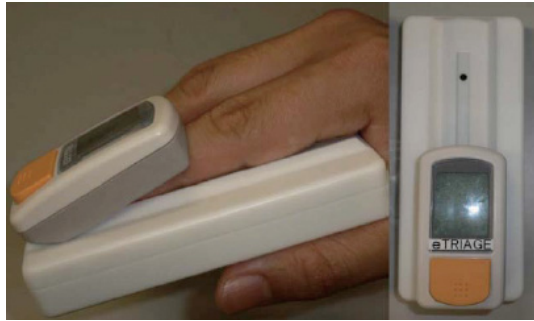


図 1 生体情報センサ
Fig. 1 Living body information sensor.

CREST プロジェクトにおけるシステムの使用が想定される環境は以下のとおりである。

- (1) 各傷病者は生体情報センサとリアルタイムトリアージを行う電子機器を装着している。
- (2) 各色テントには 1 台ずつ、傷病者の生体情報を管理する PC がある。2.2 節の要件 (a) を満たすための条件として (1) の電子機器を傷病者に装着させる。以下に想定される環境において必要な生体情報センサ、無線センサネットワークデバイスについて詳細に述べる。なお災害救助現場において機材の資源の乏しい状況で、迅速にトリアージ活動を行うために有線で結びネットワークを構築するには手間がかかる。そこで無線センサネットワークを用いることで、機材を持ち運ぶ量を減らし、機材を設置するだけですぐに電子トリアージが行えるようになるため、無線センサネットワークを用いた。

- 生体情報センサ

生体情報センサとして日本光電製 SAS-2100 を使用する¹¹⁾。SAS-2100 は呼吸、脈拍、血中酸素飽和度 (SpO₂) の 3 つの生体情報を腕時計のように腕に装着することで自動取得が可能となるセンサである。図 1 に CREST プロジェクトにおいて使用している生体情報センサを示す。また医療従事者の所持する携帯端末から歩行、意識、高エネルギー外傷の情報を入力する¹⁰⁾。

- 無線センサネットワークデバイス

本研究で用いる無線センサネットワークデバイスとしてサン・マイクロシステムズで開発された Sun SPOT を使用する。Sun SPOT デバイスの無線通信方式は、ZigBee の物理層、MAC 層と同じ IEEE 802.15.4/2.4 GHz 準拠の無線インタフェースが搭載されている。また生体情報センサから得られた呼吸、脈拍、歩行、意識、高エネルギー外

傷の情報をもとに START 法に基づき傷病者を絶対評価により 4 段階に分類し無線ネットワーク経由でリアルタイムに PC へ送ることが可能である。各傷病者のトリアージカラー、呼吸、脈拍などのバイタルサインの情報は、Sun SPOT により各テントに設置されたホスト PC に送信されデータを蓄積できるようにした。

本研究において我々は 3.2 節で述べた医療従事者にとって重要である 4 つの情報を提示可能で、さらに取り違いのない確実な傷病者情報入力可能なインタフェースを設計する。これまでの電子トリアージと同様に傷病者に生体情報センサを装着し、傷病者・医療従事者ともに Sun SPOT を装着することを想定する。本研究では医療従事者用の情報端末を所持することを想定し、情報端末に必要な情報を提示していく。医療従事者用情報端末として iPod touch を使用する。各傷病者の装着する Sun SPOT は 5 秒間隔に生体情報を各テントのホスト PC に送信する。各テントのホスト PC は傷病者情報を蓄積し、その情報をサーバに 5 秒間隔で送信する。各ホスト PC はサーバに蓄積された全テントの傷病者情報、搬送情報を 5 秒間隔で更新する。医療従事者情報端末はホスト PC に蓄積された状況把握に必要な情報すべてを 5 秒間隔で更新することで医療従事者はほぼリアルタイムに傷病者の容態を把握し、搬送に備えることが可能となる。ここで、システム構成図において医療従事者情報端末とホスト PC の情報のやりとりで XML を介しているのは、Sun SPOT、ホスト PC と iPod touch のプログラム言語が異なり直接通信を行うことが不可能なためである。さらに、各テントの情報だけではなく災害現場全体の情報を収集するため各テント、各テントの情報を集約するためのサーバをトリアージ本部に設置する。CREST プロジェクトにおける電子トリアージのシステム構成を図 2 に示す。そして、本提案においては図中の黄テントの中のシステムとなっている。そのため、他のシステムに関しては CREST プロジェクトの他グループの論文を参照していただきたい¹¹⁾。図は黄テントのシステム構成を示しているが、他テントにおいても同様の構成である。

4.2 状況把握インタフェース

状況把握インタフェースでは 2.3 節の要件 (1) 手元で所持しているだけで傷病者の生体情報・急変情報、搬送情報など現場の状況把握に必要な情報が取得可能であることを満たすための現場の救命救急活動の状況を把握するための情報である、傷病者情報・搬送を優先すべき傷病者の自動決定・搬送情報・急変情報・傷病者の In/Out 情報を表示させていく。図 3 に状況把握インタフェースの画面を示す。

- 傷病者情報

図 3 の赤く囲った部分では各傷病者の情報を傷病者 ID の順に提示していく。各傷病者

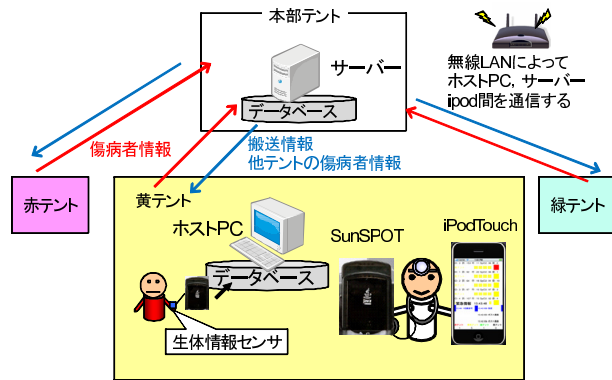


図 2 システム構成
Fig. 2 System configuration.



図 4 傷病者の詳細情報画面
Fig. 4 Injured person's information screen.

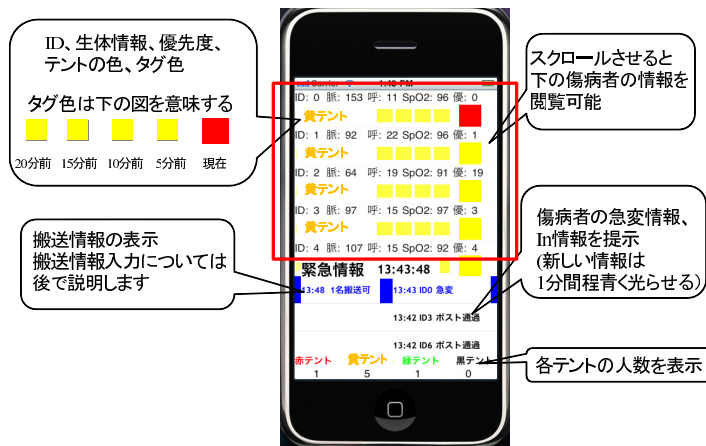


Fig. 3 Situation awareness interface screen.

の情報は傷病者 ID, 生体情報 (脈拍・呼吸・SpO₂), 治療優先度, 傷病者のいるテントの色, タグ色で構成される。タグ色は四角形の色で表現される。5 つあるのは一番右の色が現在のタグ色であり, 1 つ左にずれるごとに 5 分前, 10 分前, 15 分前と過去のタ

グ色を表している。傷病者が急変した際, 急変してからの経過時間が重要になるため, 医療従事者にとって認知しやすいようにこのような設計とした。各傷病者情報は画面をタッチし下にスクロールすることですべての傷病者の情報を閲覧することが可能である。また, 各傷病者の情報をタッチすることで詳細情報を提示する画面へと移行する。図 4 に傷病者の詳細情報を提示する画面を示す。傷病者の詳細情報画面では傷病者 ID, 脈拍, 呼吸, SpO₂, タグ色, 意識の有無, 歩行の可否, 治療優先度, 外傷の情報を提示する。

- 搬送を優先すべき傷病者の自動決定
災害時の搬送においては, 限られた人数しか搬送ができないため, 優先すべき傷病者を把握することは非常に重要である。そこで, 治療の優先度を決定するパラメータとアルゴリズムを, CREST プロジェクトにおいて共同研究を行っている順天堂大学医学部の教授の方々とディスカッションを行い策定した。治療優先度は呼吸数, 脈拍数の一定時間あたりの変化率, START 法で決められている各色に分類するための呼吸数, 脈拍数それぞれのしきい値からの外れ値 (しきい値から傷病者の呼吸数, 脈拍数がそれぞれだけ離れているか), 高エネルギー外傷の有無の値により決定する。緊急を要する傷病者の順位の求め方は以下のとおりである。
 - (1) 脈拍の変化率が高い順に順位をつける。
 - (2) 脈拍の変化率が同じ場合, 呼吸の変化率が高い順に順位をつける。

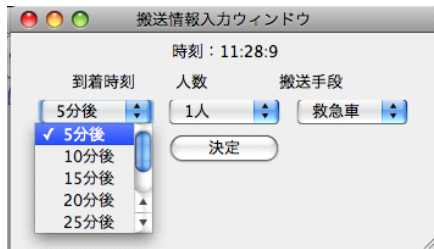


図 5 搬送情報入力 GUI

Fig. 5 Input GUI of transpot information.

- (3) 脈拍，呼吸の変化率が同じ場合，脈拍の外れ値が高い順にする．
- (4) 脈拍，呼吸の変化率，脈拍の外れ値が同じ場合，呼吸の外れ値が高い順にする．
- (5) 脈拍，脈拍の変化率，外れ値が同じ場合，外傷の有無により順位をつける．

● 搬送情報

図 3 の左下のテーブルに搬送情報を提示する．図 3 では 13 時 48 分に 1 名搬送可能であるという情報が提示されている．搬送情報の入力は搬送情報が一番最初に入る本部で入力される．図 5 に本部のサーバに搭載されている搬送情報入力 GUI を示す．この GUI によって到着予定時刻，搬送可能人数，搬送手段をそれぞれ選択し決定を選択することで各テントに送信される．

● 急変情報，傷病者の In・Out 情報

まず In 情報は，トリアージポストに運ばれた傷病者は生体情報センサと Sun SPOT を取り付けられ，傷病者情報が Sun SPOT を介しトリアージポストのホスト PC へ送信される．その時点をもって In 情報として医療従事者間で共有する．Out 情報については，傷病者を搬送する際にまず，Sun SPOT に付属しているスイッチを押してもらう．さらに，スイッチが押された状態で傷病者の情報が 10 分間以上 Sun SPOT からホスト PC へと送られてこない場合搬送と見なし，それ以後，その傷病者の情報は提示しない．図 3 の右下で示すテーブルで急変情報，傷病者の In 情報を提示する．傷病者が急変し，急変情報が各テントのホスト PC に送信されると急変した傷病者の ID，急変した時刻が提示される．また，傷病者の In 情報として傷病者 ID，トリアージポスト到着時刻が提示される．

4.3 Sun SPOT の RSSI を利用した傷病者情報入力制限

2.3 節の要件 (2) 傷病者の取り違いを防ぐ傷病者情報の確実な入力方法として取り違いの

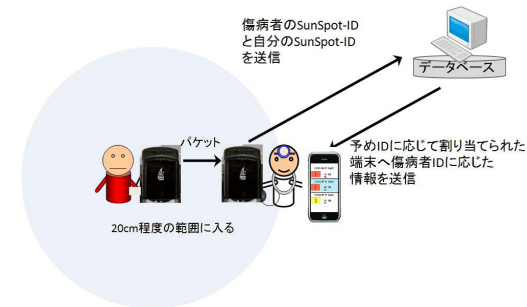


図 6 RSSI を利用した傷病者情報入力制限のシステム構成

Fig. 6 System configuration of injured person information input limitation using RSSI.

ない確実な傷病者情報入力方法を実現するために Sun SPOT の RSSI を利用する．図 6 に RSSI を利用した傷病者情報入力制限のシステム構成を示す．

Sun SPOT には固有 ID が各機存在している．各傷病者の Sun SPOT から生体情報とは別に毎秒パケットを送信する．医療従事者の Sun SPOT はそのパケットを受信し，その際の RSSI を測ることでおおよその距離を測定することができる．今回我々は RSSI で測定する範囲として，20 cm と 5 m という 2 つの範囲の距離に分けた．まずは医療従事者が傷病者の 20 cm 以内に入った際の RSSI を閾値とし，その閾値を超えると医療従事者の Sun SPOT は傷病者の ID と医療従事者の ID をホスト PC に送信する．この 20 cm という距離は Sun SPOT が 100%ある傷病者を認識できる距離である．後で述べる評価実験などを行った際にも確実に傷病者を識別することが可能であった．ホスト PC ではあらかじめ Sun SPOT-ID に応じて割り当てられた傷病者 ID，医療従事者 ID の情報を所持しているためその情報をもとに医療従事者情報端末に 20 cm 以内に近づいたことを通知する．また，傷病者情報の入力制限だけでなく，距離を測定できることを利用し，傷病者に 5 m 以内に近づいた際も情報端末に提示する．これは，急変などが起きた際など特定の傷病者を探す作業を 5 m 以内に近づいたということを提示することで支援しようとするものである．なお，5 m というのはある色のテント内の大きさを基準として，そのテント内のすべての傷病者を特定できる距離となっている．こちらも後で述べる評価実験において，遮蔽物がある状況下でも 100%すべての傷病者を認識することができた．となり合う他の色のテント内にいる傷病者を認識してしまう可能性については，きちんとタグの色によって Sun SPOT を識別しているため，その色以外のテントの傷病者を認識する心配はない．ある特定の色のテント内

の傷病者の情報を把握できるものとなっている。

5. 評価実験・考察

今回初めて提案するシステムが適正に動作するかどうかの確認とともに従来の紙タグよりもよりトリアージの効率化が図れるかどうかに着目して本評価実験を行った。

本システムの有用性を評価するにあたり、様々な傷病、症状の人間を用意するのは困難である。また、理論的に赤タグ傷病者の生体情報を近似させることも考えたが、傷病者の生体情報の推移に関する知見がなく、専門の医師も現在データを集めている段階である。本章では、訓練用として研究し今回の評価実験に用いたバイタルサインジェネレータとそれをを用いた評価実験について述べる。

5.1 バイタルサインジェネレータ

従来の災害救助訓練では健常者が傷病者の役を行うことで訓練してきたため、傷病者の生体情報を発生させることや生体情報の急変を表現することができなかった。そこで我々は先行研究として、訓練時に傷病者の生体情報を擬似的に発生させるシステムを研究し、より現実の災害救助に近い形で訓練を行えるようにした¹²⁾。Sun SPOT 内で指定したトリアージタグ色に相当する生体情報の値を発生させることで傷病者の生体情報を再現した。今回訓練用に開発したバイタルサインジェネレータを評価実験の中で利用した。なお、バイタルサインを発生させるアルゴリズムについて図 7 に示す。

5.2 急変検知に関する評価実験

この急変検知に関する評価実験により、2.3 節の要件 (1) を満たすために医療従事者情報端末に表示する急変情報に関する評価を行う。その際急変情報を知るためには、各傷病者情報が必要となる。さらにどの傷病者が急変したのかを特定するために要件 (2) を満たすために実装した取り違い防止システムを利用しているため、要件 (1)、(2) を満たすための項目のうち 3 つについて評価が行える。

5.2.1 実験環境

本評価実験の目的は医療従事者情報端末の急変検知の有用性の評価である。ここで有用性とは、従来の紙タグよりも早く傷病者の急変に気付いた場合を有用であるとする。

急変の多いとされる黄色テントを想定する。バイタルサインジェネレータが搭載された Sun SPOT を傷病者と見立てる。使用した Sun SPOT は 9 台。隣り合う傷病者のタグ色は目視できるよう配置を行う。実験は 5 分間の制限時間を設けて行う。実験開始から 1 分経過、2 分経過、3 分 30 秒経過で 1 名ずつ急変、計 3 名の急変が発生することを想定する。

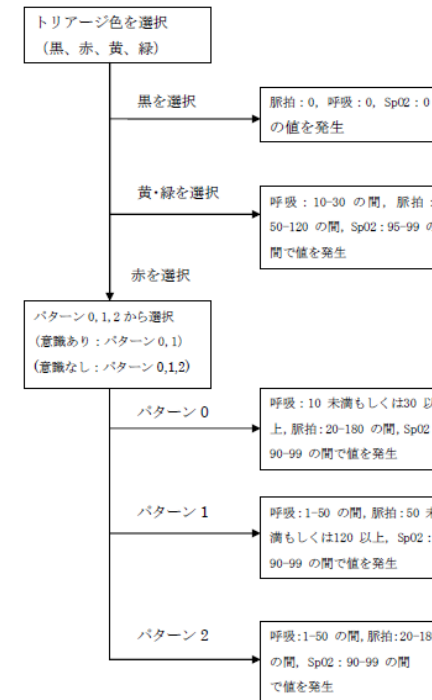


図 7 擬似生体情報発生アルゴリズム

Fig. 7 Algorithm of pseudoliving body information generation.

医療従事者情報端末ありと医療従事者情報端末なしの 2 つを比較する。また、傷病者が急変してから被験者が急変に気付くまでの平均検知時間を評価項目とする。平均検知時間とは傷病者が急変してから被験者が急変に気付くまでの時間を表す。ただし、制限時間である 5 分間以内に発見できなかった場合は急変してから制限時間までの時間を反応時間として用いた (例: 2 分間経過で急変した傷病者を制限時間まで発見できなかった場合、反応時間は 180 秒となる)。被験者は学生 20 名に行ってもらった。冒頭でも述べたとおり、まずは本システムが適正に動くかどうかを確認することも目的であるため、今回の実験では学生に行っていた。その際、本論文にも説明のあるトリアージに関する内容をきちんと把握していただいた状況下で実験を行ってもらった。

実験は図 8 で示す部屋で実施した。被験者には各色テントに搬送されてから実施される



図 8 評価実験部屋
Fig. 8 Evaluation experiment room.

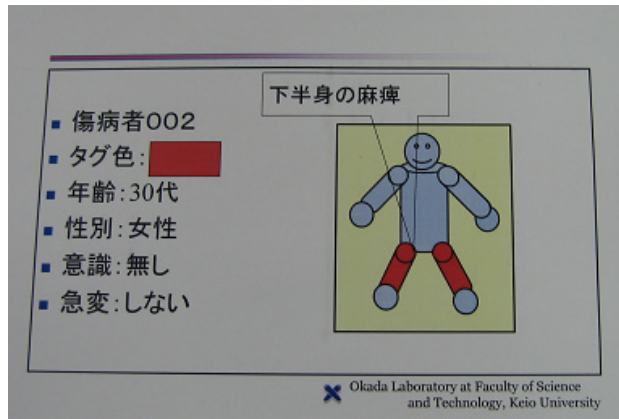


図 9 傷病者情報のサンプル
Fig. 9 Sample of wound person information.

傷病者の詳細な情報を入力していく 2 次トリアージを行ってもらった。その際、図 9 に示すような A4 の用紙に印刷された傷病者の情報を見ながら入力してもらった。9 名の傷病者を図 10 の番号順に巡回しながら、用意した傷病者情報を見ながら入力してもらった。その中で、どの傷病者が、いつ、何名急変するのか分からない状況で 2 次トリアージを行いながら急変傷病者が発生していないか探してもらった。医療従事者情報端末ありの場合は手元の端末に提示される急変情報を見ながら、医療従事者情報端末なしの場合は周りの Sun SPOT の LED ライトの色が赤く点灯していないかどうかが見回してもらった。本評価実験で

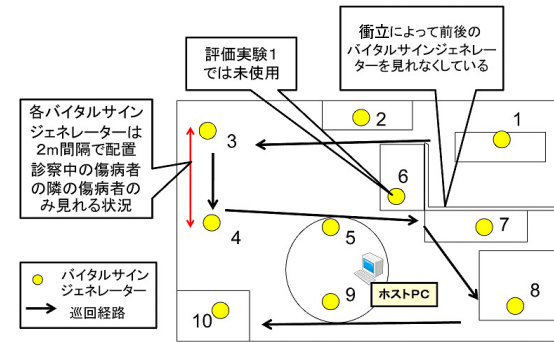


図 10 2 次トリアージ巡回見取り図
Fig. 10 Rough sketch of the second triage round.

まずは動作確認をかねたものであるため、トリアージを行う一連の救助活動の中で傷病者の入れ替わりがないと仮定した一番安定した状況下で実験を行った。

5.2.2 評価結果と考察

実験した結果、平均検知時間は提案した医療従事者情報端末がある場合のほうが 28.6 秒で、端末なしの場合は 95.9 秒となった。このことから、急変検知にかかる時間は大幅に短縮されていることが分かる。また、全体の統計を見ると医療従事者情報端末ありの場合は 40 秒以内で急変傷病者の 85% を発見することができている。医療従事者情報端末に急変情報が提示する際に新しく入った情報は 1 分間程度分かりやすく青く表示していることが検知にかかる時間の短縮につながったと考えられる。また、医療従事者情報端末なしの場合に急変傷病者を 5 分間以内に見つけることができなかった割合が 23% であった。アンケートより、被験者が傷病者情報の入力に夢中になり、周りを見渡すことを忘れてしまったといった意見や、すでに入力が終わった傷病者が急変したため気付かなかったといった意見があった。また、医療従事者情報端末なしの場合に傷病者情報の入力だけではなくつねに周りの傷病者の状態に気を遣わなければならないため医療従事者情報端末ありと比較し、疲労度が高いということがアンケートの結果から分かった。これらのことから手元で確認するだけで傷病者の急変情報を取得することができる本提案端末は急変検知において非常に効果的であるといえる。今回の学生を被験者とした実験においてシステムがきちんと動作し、なおかつ紙タグよりも効果的であることが確認された。

5.3 搬送情報に関する評価実験

この搬送情報に関する評価実験により、要件(1)を満たすために医療従事者情報端末に表示する搬送情報に関する評価を行う。その際傷病者の搬送情報を知るためには、各傷病者情報が必要となる。そして、搬送していなくなった傷病者を把握するために傷病者 In・Out 情報を利用している。さらにどの傷病者が搬送されたのかを特定するために要件(2)を満たすために実装した取り違い防止システムを利用しているため、要件(1)、(2)を満たすための項目のうち4つについて評価を行うことができ、以上急変情報と搬送情報の2つの評価実験を行うことで要件(1)、(2)を満たすためにあげた項目すべての機能を利用し評価することができた。

5.3.1 実験環境

本評価実験の目的は搬送情報を利用し、迅速に搬送準備を行えるかの評価である。搬送が頻繁に行われる赤テントを想定する。使用した Sun SPOT は 10 台。実験開始から 3 分経過時に搬送情報が入り、5 分経過時に救急車が到着、3 名搬送可能とする。搬送情報、傷病者情報をホスト PC、医療従事者情報端末の両方に提示する。

医療従事者情報端末ありと医療従事者情報端末なしの2つを比較する。評価項目として、(a) 搬送情報が入力されてから気付くまでの時間、(b) 搬送時間になった際、傷病者の決定にかかる時間の2つをあげる。被験者は急変検知に関する評価実験と同様の理由から学生 20 名で行った。実験は急変検知の実験と同じく図 8 で示す部屋で実施した。被験者には各色テントに搬送されてから実施される傷病者の詳細な情報を入力していく 2 次トリアージを 10 名の傷病者を番号順に巡回しながら行ってもらった。本実験では医療従事者情報端末だけではなくホスト PC にも搬送情報、傷病者情報を提示する。医療従事者情報端末なしの場合は搬送情報、傷病者情報を把握しようとするたびにホスト PC に戻ってきてもらった。2 次トリアージを行いながら、いつ入るか分からない状況で搬送情報をチェックしてもらい、搬送時間になった際はホスト PC、医療従事者情報端末それぞれに提示された治療優先度を見ながら搬送すべき傷病者の決定を行ってもらった。治療優先度は 1 分間隔で傷病者の生体情報をもとに自動更新される。

5.3.2 評価結果と考察

表 2 に搬送情報に気付くまでにかかった時間、搬送すべき傷病者の決定に要した時間の結果をそれぞれ示す(単位は秒)。

平均検知時間を見ると提案した医療従事者情報端末がある場合のほうが搬送情報検知にかかる時間も搬送すべき傷病者の決定に要した時間についても短縮されている。急変検知の

表 2 評価実験結果

Table 2 Evaluation experiment result.

医療従事者 情報端末	評価項目 a		評価項目 b	
	平均決定時間	標準偏差	平均決定時間	標準偏差
あり	12.5	17.4	25.0	10.0
なし	41.3	67.5	49.6	26.8

実験に比べて搬送情報検知にかかった時間の差が小さいのは、医療従事者情報端末なしの場合、急変検知の際は 10 名の傷病者の Sun SPOT が赤色に点灯していないかをそれぞれ見回さなければならないのに対し、ホスト PC に搬送情報が提示されていないか見るだけで済むためだと考えられる。

また、2 次トリアージとして傷病者情報の入力を行ってもらったが、医療従事者情報端末の有無によって入力できた人数に差異がでた。医療従事者情報端末ありの場合は平均 8.6 名の傷病者情報を入力できたのに対し、医療従事者情報端末なしの場合平均 6.7 名と約 2 名と大きな差ができた。これは、医療従事者情報端末なしの場合、搬送情報や傷病者情報を確認するためにホスト PC に戻らなくてはならないため時間がかかったことが要因だと考えられる。また、アンケートより、被験者が医療従事者情報端末なしの場合にホスト PC の情報が気になり傷病者情報の入力に集中できなかったという意見が多く寄せられた。そのため、実験を通しての疲労度に関するアンケートでは医療従事者情報端末ありとなしでは大きな差が見受けられた。

さらに、医療従事者情報端末なしの場合に搬送すべき傷病者を間違えるミスが 7 回発生した。これは、被験者が搬送すべき傷病者を決定する際にその時刻の傷病者情報をホスト PC で確認せずに少し前に見た情報を頼りに搬送すべき傷病者を決定することが起こったことが要因としてあげられる。また、単純にホスト PC に提示された傷病者情報を見間違えた被験者も存在した。

これらのことから搬送情報や搬送する傷病者の決定に必要な情報を手元で確認するだけで取得することができる本提案端末は時間短縮という面でも利用者の負担を軽減するという面でも非常に効果的であるといえる。なお、冒頭の説明のとおりシステム動作の確認を目的にしている本評価実験では学生を対象に実験を行うことでシステムが適正に動き、なおかつ従来の紙タグよりも効果的にトリアージが行えていることが分かった。今後は有効性の確認が得られた本システムを実際の医師の方々にご利用していただき評価実験を行っていきたいと考えている。

6. おわりに

従来のトリアージに基づく医療活動では人的、物的資源の状況や、傷病者の人数、傷病者の外傷や生体情報の変化などをリアルタイムで把握することが困難であった。本研究では、無線センサネットワークを利用し、PC に集約された複数の傷病者情報、搬送情報などを提示し、さらに傷病者の取り違い防止のための RSSI を利用した距離に応じた入力制限可能な医療従事者情報端末を提案した。システムの動作確認と有効性を検証するためにバイタルサインジェネレータを用いて学生を対象に、急変情報検知の実験・搬送情報に関する実験を2つ実施し評価したところ、医療従事者情報端末によって急変情報・搬送情報を検知する時間を大幅に短縮し、また使用者にとって負担の少ない情報提示の仕方であることを確認した。これにより現場の救急救命活動時において、治療に緊急を要する傷病者を見つけ、搬送する作業の迅速化が期待される。

謝辞 この研究の一部は JST の戦略的創造研究推進事業 (CREST) の支援により行われた。また、本研究は順天堂大学医学部救急災害医学から協力を得て行われた。

参 考 文 献

- 1) 日本 DMAT 活動要領, 独立行政法人国立病院機構災害医療センター DMAT (オンライン), 入手先 <http://www.dmat.jp/> .
- 2) 高知県災害医療救護計画・高知県災害救急医療活動マニュアル, 高知県健康福祉部医療薬務課 (オンライン), 入手先 <http://www.pref.kochi.lg.jp/> .
- 3) 戦略的創造推進事業 CREST 先進的統合センシング技術領域災害時救命救急支援を旨とした人間情報センシングシステムの詳細, <http://www.jst.go.jp/kisoken/crest/ryoiki/bunya02-1.html> .
- 4) 災害時における医療施設の行動基準 (第 1 版), 大阪府医師会救急・災害医療部 (オンライン), 入手先 <http://portal.osaka-bousai.net/> .
- 5) 自然災害発生時における医療支援活動マニュアル, 新潟県中越地震を踏まえた保健医療における対応・体制に関する調査研究, 社団法人長岡市医師会 (オンライン), 入手先 <http://www.nagaoka-med.or.jp/> .
- 6) 園田章人, 井上創造, 岡賢一郎, 藤崎伸一郎: RFID を利用した救急トリアージシステムの実証実験, 情報処理学会論文誌, Vol.48, pp.802-810 (2007).
- 7) ユビキタス医療に向けた医療分野の RFID 事情, Wisdom ホームページ (オンライン), 入手先 <http://www.blwisdom.com/> (参照 2009-4-1).
- 8) 外傷救急活動ガイドライン 2004, 湘南地区メディカルコントロール協議会 (オンライン). 入手先 <http://shonan-mc.or.tv/> (参照 2009-4-1).

- 9) 丸山征四郎: 経験から学ぶ大規模災害医療, 永井書店 (2007).
- 10) 長橋健太郎, 杉山阿葵, 栖閑邦明, 岡田謙一: 災害現場におけるトリアージを用いた傷病者情報入力端末の提案, 情報処理学会第 70 回 GN 研究会, pp.25-30 (Jan. 2009).
- 11) 災害時救命救急支援を旨とした人間情報センシングシステム. <http://www.etriage.jp/>
- 12) 小嶋洋明, 長橋健太郎, 岡田謙一: 電子トリアージタグを用いた災害医療訓練システムの提案, 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2010) シンポジウム, pp.691-698 (July 2010).
- 13) Gao, T., Massey, T., Bishop, W., Bernstein, D., Selavo, L., Alm, A., White, D. and Sarrafzadeh, M.: Integration of Triage and Biomedical Devices for Continuous, Real-Time, Automated Patient Monitoring, *Proc. 3rd IEEE-EMBS International Summer School and Symposium on Medical Devices and Biosensors*, pp.34-39 (2006).
- 14) Pondrom, S., Butler, C. and Ramsey, D.: Wireless Technology To Enhance Mass Casualty Treatment in Disasters (2003).
- 15) Changa, P., Hsub, Y.-S., Tzengb, Y.-M., Houc, I.-C. and Sangb, Y.-Y.: Development and Pilot Evaluation of User Acceptance of Advanced Mass-Gathering Emergency Medical Services PDA Support Systems, *Proc. 11th World Congress On Medical Informatics* (2004).

(平成 22 年 4 月 15 日受付)

(平成 22 年 11 月 5 日採録)



長橋健太郎 (学生会員)

2009 年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業。現在、同大学院理工学研究科修士課程在学中。グループワーク支援の研究に従事。



栖閑 邦明 (学生会員)

2010 年慶應義塾大学大学院理工学研究科修士課程修了。現在、JR 東海に勤務。



小嶋 洋明 (学生会員)

2010年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業。現在、同大学院理工学研究科修士課程在学中。グループワーク支援の研究に従事。



岡田 謙一 (フェロー)

慶應義塾大学理工学部情報工学科教授，工学博士。専門は，CSCW，グループウェア，情報処理学会誌編集主査，論文誌編集主査，GW研究会主査等を歴任。現在，情報処理学会 MBL 研究会運営委員，BCC 研究グループ主査，日本 VR 学会理事，CS 研究会委員長。情報処理学会論文賞（1996 年，2001 年），情報処理学会 40 周年記念論文賞，日本 VR 学会サイバースペース研究賞，IEEE SAINT'04 最優秀論文賞を受賞。情報処理学会フェロー，IEEE，ACM，電子情報通信学会，人工知能学会各会員。