

治療優先度を付加した自動トリアージシステムの提案

栖 関 邦 明^{†1} 杉 山 阿 葵^{†1}
長 橋 健 太 郎^{†1} 岡 田 謙 一^{†2,†3}

災害時救急救命活動において特に緊急に治療を必要としない軽症患者や中等症患者の治療を一時的に遅らせることや、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いる。現在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、医療従事者が多数の赤タグ負傷者の搬送順を決められないことが問題点としてあげられる。本研究では我々は無線センサネットワークを利用し、傷病者を従来の絶対基準によるトリアージ評価により分類した後、生体情報と外傷の情報をもとに傷病者同士を相対的に比較し、同じ色に分類された傷病者集団の中でどのくらい治療を優先するのかを自動的に割り出すシステムを提案した。システムの機能検証用に作成した人間のバイタルサイン発生装置バイタルサインジェネレータを用いて実験を行ったところ、システムがリアルタイムに変化する傷病者の生体情報を取得し、バイタルサインが急激に変化している傷病者を割り出すことが可能であるという結果が得られた。

A Proposal of the Automatic Triage System Providing Treatment Priority

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

In this research, we proposed new system using a wireless sensor network which compares injured person relatively 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". This evaluation shows that the system acquired the 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 ac-

tivities is expected.

1. はじめに

JR 西日本での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早期に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。このために特に緊急に治療を必要としない軽症患者や中等症患者の治療を一次的に遅らせることや、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、JR 福知山線脱線事故のような数十人規模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、医療従事者が多数の赤タグ負傷者の搬送順を決められないことがあげられる。

我々は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目指した人間情報センシングシステム」のプロジェクトの下、トリアージの電子化に取り組んできた³⁾。本研究では我々は無線センサネットワークを利用し、傷病者を従来の絶対基準によるトリアージ評価により分類した後、生体情報と外傷の情報をもとに傷病者同士を相対的に比較し、同じ色に分類された傷病者集団の中でどのくらい治療を優先するのかを自動的に割り出す自動トリアージシステムを提案する。その後、提案に基づいた機能検証のた

^{†1} 慶應義塾大学大学院理工学研究科
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

3 治療優先度を付加した自動トリアージシステムの提案

めの試作機を実装し、機能検証を実施する。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章でシステムの機能検証を行う。

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、自衛隊、医療従事者チームに現場への出動要請を出す。JR 西日本福知山線脱線事故では事故発生後の早い時期から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た。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人的、物的資源は限られる。このため、できるだけ多くの傷病者の救助を行うには、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(Simple Triage and Rapid Treatment)が採用されている。START法は、傷病者を「呼吸」「循環」「中枢神経」の順番で優先度を評価する^{4),5)}。図1にSTART法を用いたトリアージのフローチャートを示す。

日本では図2に示すトリアージタグと呼ばれる4色のマーカ付き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(トリアージを行うために用意されたエアテント)に傷病者全員を

表1 トリアージカテゴリ
Table 1 Triage category.

色	優先度	処置
赤(1)	1	生命を救うためただち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ほとんど専門医の治療を必要としない者.
黒(0)	4	すでに死亡している者. 明らかに即死状態であり, 心肺蘇生を施しても蘇生可能性のない者.

搬送。

- (2) トリアージポストで傷病者全員にトリアージタグを装着。
- (3) 医療従事者がトリアージを行いタグの色を決定。
- (4) 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(赤タグの傷病者は赤のエアテントに搬送)。
- (5) それぞれの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(赤タグの傷病者は第3次医療機関へ)。
- (6) 決定に基づいて医療機関に搬送する(赤タグはドクターヘリなどで第3次医療機関へ, 黄色は救急車などで第2次医療機関へ)。
- (7) 医療機関の入り口などで必要に応じて複数回トリアージを行う。
- (8) 医療機関で適切な治療を受ける。

2.2 電子医療機器を用いた活動支援

多くの病院などの医療機関内では、心電図検査機器や血圧測定機器など傷病者の生体情報

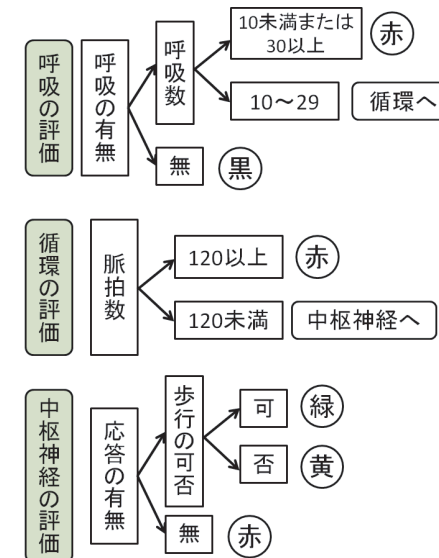


図1 START法を用いたトリアージ
Fig. 1 Triage using Start Method.

4 治療優先度を付加した自動トリアージシステムの提案



図2 トリアージタグ
Fig. 2 Triage tag.

をつねにモニタリングが可能となる電子医療機器が使われており、これらの機器は効果的な治療に貢献している。近年は医療ミスや医療活動の効率化を目指し、よりいっそう医療のIT化が進んでいる。例として医療情報の電子化により医療ミスを防ぎ、医療費を削減することを目的として世界的にカルテの電子化の取り組みがなされている⁸⁾。日本では、厚生労働省、政府のIT戦略本部を中心に電子カルテシステムやレセプトの電子化などが行われている。また傷病者と医療従事者、薬剤にRFIDタグを付けてその動きをモニタリングするという動きもある。今までバーコードを利用した医療ミスを防ぐシステムはあったが、RFIDは汚れやねじれに強く、リーダからの距離を考慮すると利点が多いことが実証されている。

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負傷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。米国のカリフォルニア大学サンディエゴ校では、連邦政府援助によるワイヤレス技術を活用した大規模災害救急医療に関する研究プロジェクトWiISARD (Wireless Internet Information System for Medical Response in Disasters) で活動を行い、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。現在の救急救命現場では、人員が限られるため傷病者の急激な病状の悪化などを把握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が行っているCodeBlueプロジェクトでは、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¹³⁾。また限られた設備を利用し、効率良く生体情報などを通信するための

ネットワークに関する研究も行われている¹²⁾。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。この結果、負傷者の搬送時間と情報収集にかかる時間を短縮できることが実証されている。

このほかにPDAなどの小型情報端末を利用して傷病者の情報収集を行い、医療活動の効率化を目指した研究も行われている¹⁴⁾。国内では、傷病者の情報収集を迅速かつ確実に実現することと救急活動時に適切な処置をすることを実現するために、傷病者の事前に登録された情報を利用する情報システムが提案されている⁷⁾。

上記のように医療においてRFIDを用いたシステムの研究が多数なされている。しかし、RFIDには通信距離に制約があることが問題点としてあげられる。そして福知山線脱線事故のような傷病者が百人規模で発生した災害の場合、赤タグ、黄タグとトリアージされた傷病者は数十人単位で発生する。この傷病者の搬送優先順位と搬送先の医療機関を決めるために各色のトリアージテントで2次トリアージが行われる。多数の赤タグ傷病者が発生した場合、救急隊員が傷病者の搬送順を決めることは困難である。しかしながら従来研究では搬送の優先度を提示するといった研究は行われていない。

3. 自動トリアージシステムの提案

3.1 トリアージに求められる要件

本節では、トリアージに求められる要件、そして我々が提案する自動トリアージシステムに求められる要件について順に述べる。現在日本では国際標準となっている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、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、各色のテントでもおおよそ数回程度だと考えられる。この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病状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) 最小限の人的資源で

5 治療優先度を付加した自動トリアージシステムの提案

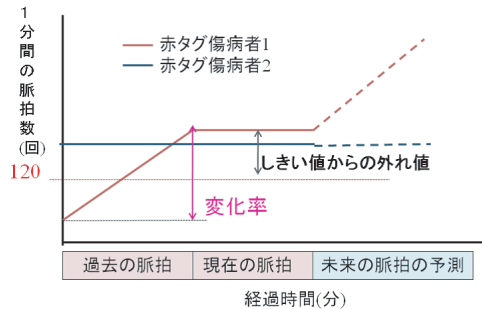


図3 赤タグ傷病者の脈拍の推移
Fig. 3 Pulse of red tag patient.

の傷病者対応、(c) 最小限の搬送資源を効率的に利用した傷病者の搬送の3つの要件がある。

そして傷病者が数百人発生した大規模事故の場合、赤タグ、黄タグとトリアージされた傷病者は数十人単位で発生する。この傷病者の搬送優先順位と搬送先の医療機関を決めるために各色のトリアージテントで2次トリアージが行われる。多数の赤タグ傷病者が発生した場合、救急隊員が傷病者の治療の順番を決めることは困難である。

トリアージは限られた資源で最大多数の傷病者を救命することを目的として行われている。したがって人的、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によって誰を優先して搬送、治療するかは変わってくる。しかしながら現在、START法に見られるように生体情報による絶対評価で4段階に振り分けられている。このことから4段階に振り分けた後、傷病者同士の生体情報を比較し治療を急ぐ傷病者を自動的に割り出すシステムが必要である。したがって、我々の提案する自動トリアージシステムに求められる要件は、(1) 生体情報（呼吸、脈拍など）の自動取得および自動集積によるリアルタイムな傷病者の容体把握、容体比較が可能な機材の使用、(2) 傷病者の生体情報比較による治療優先順位の自動算出、(3) 治療優先順位を決定し実際に搬送を行う際、どの傷病者が搬送されるのか医療従事者へ通知する機能の3つの要件がある。

3.2 システムコンセプト

我々は重大事故において、傷病者のリアルタイムでの容体把握、それに基づく治療と搬送資材の分配を自動的に行う自動トリアージシステムを構築する。

3.3 バイタルサインの遷移

図3に2名の赤タグ傷病者の脈拍推移の一例を示す。この2名の脈拍推移のデータはバ

イタルサインジェネレータによって人工的に生成されたデータである。バイタルサインジェネレータに関しては5.1節で詳しく述べる。現在この2名の傷病者は脈拍数が120以上のため、START法に基づき赤色タグと判定される。しかし傷病者1の方が、赤色と判断される脈拍数のしきい値120回/分からの外れ値が大きい。また傷病者1の脈拍数は急激に増加していることから、今後の増加も予想され容体が悪いということが予想できる。このことから従来のような、ある一時の傷病者のバイタルサインでSTART法により4分類するだけでなく、変化率や外れ値をもとに相対的に比較するトリアージが必要である。

従来のトリアージでは、リアルタイムに傷病者の経過観察をすることが難しい。本研究では第1に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。さらに頻繁なバイタルサインの観察が不可能なため、傷病者のバイタルサインがどのように遷移しているかを把握することは困難であった。しかし上記のように、頻繁に傷病者を観察することは避けられた死を防ぐ意味において重要であるといえる。

3.4 高エネルギー外傷

事故の場合、車に轢かれた場合、救出に20分以上を要した場合、体幹部が挟まれた場合など目に見える徴候がなくても、受傷機転から考えて生命に危険のある損傷を負っている可能性が無視できない状態を高エネルギー外傷という⁹⁾。このような場合、生命を第1に考えるべく早く病院に搬送しなければならない。高エネルギー外傷による傷病者においては、現場や搬送途上での適切な処置が予後を左右するといわれており、搬送における処置の標準化が救命率の向上に不可欠である。

3.5 傷病者の搬送と治療

大事故発生時には、多くの重症傷病者が発生する一方で事故現場近くの医療機関の機能は低下する¹⁰⁾。しかし、事故現場より遠い医療機関においては平時と同様の医療を提供できるものと考えられる。また、事故現場近くには高度な治療ができる第1次医療機関がない場合もある。そこで事故発生時に重症傷病者を遠方の第1次医療機関に搬送し、そこで医療を提供するという広域医療搬送が行われている。広域医療搬送においては、事故現場近くの広域搬送可能な重症患者を広域搬送拠点に集約し、そこからドクターヘリなどで遠方の医療機関へ航空搬送を行う。

災害時においては、搬送し治療できる傷病者の人数が、自治体からの応援などや受け入れ先の医療機関により状況が動的に変化する。また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し、適切な病院に搬送し治療することは非常に重要である。

6 治療優先度を付加した自動トリアージシステムの提案

これらのことから本研究では限られた搬送資源を有効活動するために、同じ色に分類された傷病者のバイタルサインの基準値からの外れ値と一定時間あたりの変化率をもとに相対的に治療を優先すべき傷病者を割り出すシステムを提案する。

4. 実装

3章をふまえ、機能検証のための試作機を実装した。

4.1 システム構成

傷病者に生体情報センサを装着し、そのセンサから呼吸、脈拍を取得する。生体情報センサとして日本光電製 SAS-2100 を使用する。図 4 に実際に装着したときの外観を示す。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。呼吸は鼻下に装着したチューブから呼吸の際に得られる圧力変化から検出している。脈拍は指先にプローブを装着し、2 種類の波長の光を照射し、透過した光を電気信号に変換後、動脈の脈動に起因した脈波波形を得る。SpO₂ はさらにこの得られた 2 波長の脈波波形の比から値を算出している。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。これらの情報は自動取得することが難しく、また医療従事者が直接判断を下すことで迅速で正確な診断が実現できるため手動入力とした¹¹⁾。そして、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 段階に分類した後、同じ色に分類された傷病者集団の中でどのくらい治療を優先するのかを自動的に割り出すシステムを構築する。

図 5 にシステム構成を示す。



図 4 SAS-2100 の装着例
Fig. 4 Using SAS-2100.

各色のテントにはそれぞれ、医療従事者への司令や医療機関からの情報を集約するためのホスト PC が設置される。このホスト PC で同一色の傷病者の生体情報を集約するために、無線センサネットワークデバイスを利用する。本研究では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。開発はプログラミング言語 Java を用いて、Windows XP 上で行う。Sun SPOT の無線通信方式は、IEEE 802.15.4/2.4 GHz (Zigbee) 準拠であり、マルチホップで通信を行う。

Sun Spot は Zigbee を用いた通信だが、10 m 以内の範囲ならばロスもなく通信が可能である。また 10 m を超える通信であってもホップさせれば問題なく通信できる。さらに、Sun SPOT のバッテリー持続時間に関して、連続稼働時間 11 時間は実証されている。実際は通信の頻度によって持続時間は短くなると考えられるが、1 分間に 1 回程度と通信頻度が低いため、機能検証のための試作機としては十分なバッテリー持続時間であるといえる。また、医療従事者の Sun SPOT に対する習熟度に関する問題だが、Sun SPOT にあらかじめプログラムをインストールしておけば、あとは生体情報センサと Sun SPOT を接続し、電源を入れるだけでホスト PC へと自動送信されるシンプルな構成となっているため、工学的知識のない医療従事者でも簡単に使えるシステムといえる。

ホスト PC に Sun SPOT ベースステーションを接続し、傷病者には生体情報センサと USB 接続が可能な Sun SPOT リモートセンサデバイスを装着する。これによりホスト PC 上のアプリケーションと傷病者に接続されたリモートセンサデバイスが通信可能となり、各

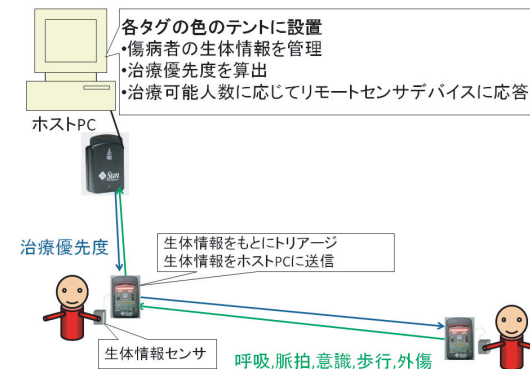


図 5 システム構成
Fig. 5 System architect.

7 治療優先度を付加した自動トリアージシステムの提案

リモートセンサデバイスで取得した傷病者の生体情報をホスト PC に集約することができる。リモートセンサデバイスには傷病者の生体情報を START 法をもとに 4 段階にリアルタイムトリアージを行う機能とホスト PC への生体情報の送信機能、ホスト PC からの治療の優先度を受信する機能を搭載する。リモートセンサデバイスには LED が付属しているため、従来の紙タグの色と同じ色や治療の優先度に対応した色の LED を点灯する。ベースステーションが取り付けられたホスト PC は、各傷病者の生体情報を受信し、相対的に比較し治療優先度を算出した後、さらにリモートセンサデバイスに送信する機能を持つ。

このシステムを使用したときの流れは以下のとおりである。大事故が発生した場合、医療従事者は傷病者に生体情報センサと接続したリアルタイムトリアージ機能を内蔵したリモートセンサデバイスを装着する。リモートセンサデバイスは自動的に傷病者の生体情報をセンシングし、その情報をもとにトリアージを自動的に行い付属した LED を光らせることで医療従事者に知らせる。医療従事者はランプの色をもとに各色のテントに搬送する。傷病者がホスト PC から 3 ホップ程度（1 ホップ 5~10 m なので 30 m）以内に運ばれると、リモートセンサデバイスは生体情報を各テントのホスト PC に送信する。ホスト PC は集約した傷病者の生体情報を相対的に比較し治療優先度を算出し、リモートセンサデバイスに結果を送信する。この治療優先度を受け取ったリモートセンサデバイスは、治療優先レベルに応じて LED の点灯数を変える。さらに動的に変化する搬送車両の状況に応じ、緊急治療のため搬送する傷病者を呼び出す機能をホスト PC に付与する。ここでカラーテントに搬送受入れ情報がくるなど搬送が可能となる状態になり、ホスト PC に搬送可能な人数を入力するとホスト PC は治療優先順位と照らし合わせ、順位が高いもののデバイスに呼び出しをかける。この呼び出し情報を受け取ったデバイスは LED を白色に点灯させる。

4.2 リアルタイムトリアージ機能

外部から無線センサネットワークデバイスに 1 分間隔に入力される呼吸数、脈拍数と傷病者が歩行できるか否か、救急隊員の声に応答できるか否かという情報をもとに START 法を用いて以下のような手順で 4 段階に分類するリアルタイムトリアージ機能を構築した。リアルタイムトリアージ機能はリモートセンサデバイスで動作する。

- (1) 呼吸数が 0 の場合黒タグ。
- (2) 呼吸数が 10 未満または 30 以上の場合赤タグ。
- (3) 呼吸数が正常（10 以上 30 未満）だが、脈拍が 120 以上の場合赤タグ。
- (4) 呼吸数が正常、脈拍が正常（脈拍 120 未満）だが、応答がない場合赤タグ。
- (5) 呼吸数が正常、脈拍が正常で、歩行できない場合黄タグ。

(6) 呼吸数が正常、脈拍が正常で、歩行できる場合緑タグ。

4.3 治療優先順位と治療優先レベルの算出

本研究では順天堂大学医学部の協力のもと、治療の優先度を決定するパラメータとアルゴリズムを策定した。

用いるパラメータは脈拍・呼吸の変化率と外れ値、高エネルギー外傷の有無の 5 つである。変化率・外れ値はセンサから取得した脈拍・呼吸の値からそれぞれ導き出していく。

変化率を導く式を以下のように定義する。脈拍・呼吸ともに変化率を導く式は同じであるので、脈拍の場合について説明する。変化率 C_n を算出する間隔を Δt とし、脈拍を A_n と定義する。脈拍測定から 1 回目の Δt 経過した時間の間隔を以後 1 間隔と定義する。次に、脈拍測定開始時の脈拍を A_0 、1 間隔後を A_1 、2 間隔後を A_2 と定義すると変化率 C_n は $C_1 = \frac{A_1 - A_0}{\Delta t}$ 、 $C_2 = \frac{A_2 - A_1}{\Delta t}$ と続いていき、 $C_n = \frac{|A_n - A_{n-1}|}{\Delta t}$ ($n \geq 2$) という一般式で定義する。

次に外れ値の算出法について述べる。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を採用する。脈拍は 120 をしきい値として、しきい値からどれだけ高く離れているのか、その値を外れ値とする。例) 脈拍 145 の場合: $145 - 120 = 25$ 。よって外れ値 25 とする。呼吸の場合、10 と 30 をしきい値とし、しきい値からどれだけ離れているか、その値を外れ値とする。例) 呼吸数 8 の傷病者の外れ値は 2、呼吸数 43 の傷病者の外れ値は 13 となる。これらのパラメータの算出法に関して、順天堂大学医学部の協力のもと決定した。高エネルギー外傷は医療従事者の診断によって判定される。

治療の優先度は呼吸数、脈拍数の一定時間あたりの変化率、呼吸数、脈拍数それぞれの外れ値、高エネルギー外傷の有無の値により決定する。

アルゴリズムはバイタルサインが不安定な傷病者、つまり変化率の高い傷病者を優先する。次点で安定しているが外れ値が大きい傷病者を優先する。これは、変化率が大きく正常値の範囲内にいる傷病者と異常値で変化率の少ない傷病者を比較する際でも、異常値で変化率の少ない傷病者は今後も異常値ではあるがバイタルサインは落ち着く可能性が高いため、変化率の大きい傷病者の方が時間経過によって急激な容態悪化を引き起こす可能性が高く、正常値であっても変化率の大きい傷病者を優先すべきだからである。高エネルギー外傷がある場合、それが傷病者にとって深刻な場合、脈拍が急激に変化するなどバイタルサインに変化が現れる。反対に高エネルギー外傷があっても、生命を脅かすほど深刻でない場合、バイタルサインの急激な変化は現れないと考えられる。したがって、その次にバイタルサインが

8 治療優先度を付加した自動トリアージシステムの提案

表 2 治療優先順位の決定例
Table 2 Decision example of treatment priority.

ID	変化率	外れ値	外傷	治療優先順位
1	呼:0 脈:0	呼:0 脈:10	1	6
2	呼:0 脈:0	呼:0 脈:10	0	7
3	呼:10 脈:30	呼:20 脈:40	0	3
4	呼:0 脈:0	呼:20 脈:50	0	4
5	呼:20 脈:30	呼:20 脈:40	0	2
6	呼:0 脈:0	呼:10 脈:10	0	5
7	呼:0 脈:80	呼:20 脈:60	0	1

安定し、しきい値に近いが高エネルギー外傷がある傷病者を優先する。呼吸は脈拍に比べて外的要因で変化しやすく正確に測定がしにくいこと、また脈拍の異常による疾患が重篤であるということから、呼吸より脈拍を優先する。傷病者の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傷病者がいた場合、呼吸の変化率を見る。呼吸の変化率が高い順に順位をつける。
- (3) 脈拍、呼吸の変化率が同じ場合、脈拍の外れ値を見る。脈拍の外れ値が高い順に順位をつける。
- (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順位をつける。
- (5) 脈拍、呼吸の変化率、外れ値が同じ場合、外傷の有無により順位をつける。

表 2 に傷病者が 7 名いたときの治療優先順位の決定例を示す。傷病者 ID は傷病者を識別するために使用する。呼は呼吸を、脈は脈拍を表す。

搬送優先順位を提示すると、短い時間で順位の変動が起こる可能性があるため現場に混乱をきたすと考えた。このことにより、3 段階程度のレベルに分けることとした。本研究では、この治療優先順位をもとに治療優先度レベルを決定する。このレベルが高いほど治療を急ぐ緊急度の高い傷病者である。このレベルを算出し医療従事者に提示することによって、医療従事者はどの傷病者の容態が相対的に見て悪化しているのかを知ることができ、搬送を待っている間にも傷病者に対して応急処置や経過観察、診療を優先的に行うことができる。表 2 の例の場合の治療優先レベルは 3 段階であり、この例ではレベル高は ID7 と ID5、レベル中は ID3 と ID4、レベル低は ID6, ID1, ID2 である。治療優先順位と治療優先レベル

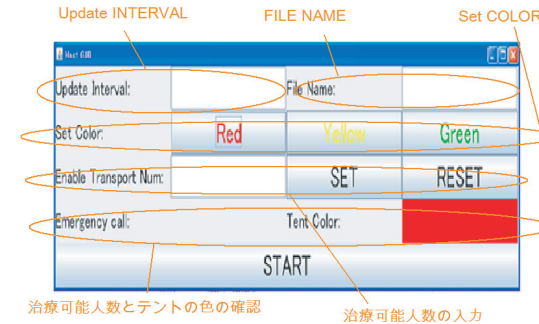


図 6 入力 GUI
Fig. 6 GUI of input.

の算出機能は、ホスト PC に搭載する。

4.4 ホスト PC の設定と搬送可能人数入力 GUI

この機能はホスト PC に搭載する、搬送車両が到着し、一定数の搬送が可能になったときに、GUI から人数を入力する。図 6 に搬送可能人数と傷病者呼び出しを入力するための GUI インタフェースを示す。

入力 GUI の詳細について図 6 を用いて上から順に述べていく。まず変化率を計算するための時間間隔を Update Interval に入力する。この更新時間の入力により、治療優先順位の算出の間隔を設定できる。これは機能検証を行うにあたり、本実験を実施する前段階における動作確認の利便性を考えて作成した。具体的には動作確認の時間を短縮できるように更新時間を調整できる機能を付与した。また、実際の現場で使用する際にも、赤テントでは生体情報が不安定な傷病者が多いと予想されるため、更新時間を短く設定し、優先順位を頻繁に更新することでより正確に搬送すべき傷病者を選別することができると思われる。

また、逆に黄テントや緑テントでは、優先順位の更新間隔を赤テントよりも空けることで Sun SPOT のバッテリーを節約することができるため、テントによって更新時間の間隔を変更できる機能は必要である。

次に、FileName に関して述べる。FILE NAME テキストボックスに適当なファイル名を入力すると、傷病者から受信したバイタルサインとトリアージカラーを記録したテキストファイルが作成される。

現状の紙タグを利用したトリアージの問題として妥当なトリアージが行われたのか不明瞭であるということがあげられる。生体情報を保存する機能は死亡に至った傷病者のトリ

9 治療優先度を付加した自動トリアージシステムの提案

アージの妥当性の判断材料として有効な機能といえる。

SetCOLOR ボタンではあらかじめホスト PC が置かれているテントの色を設定する。設定した色は Tent Color に表示される。

そして、Start ボタンを押すと治療優先順位の算出を始める。

搬送車両が到着したら、その車両に乗れる人数を治療可能人数として Enable Transport Num テキストボックスに入力する。仮に 2 と入力すると、そのカラーテントの中で 1 番目、2 番目に搬送を優先させなければならないほど危険な傷病者を割り出し、その傷病者のリモートセンサデバイスに返答する。治療可能人数とテントの色の確認が Emergency Call 欄に表示される。

5. 機能検証実験・考察

本システムの有用性を評価するにあたり、様々な病態、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。そこで本研究では、提案システムを評価するにあたり、簡易に訓練も兼ねた評価が行えるバイタルサイン発生装置であるバイタルサインジェネレータを開発した。そしてバイタルサインジェネレータによって作成された 4 名の人工的なデータを用いて提案システムの機能検証のための実験を行った。

5.1 バイタルサインジェネレータの開発

本研究では、本システムの機能検証に必要なバイタルサイン発生装置であるバイタルサインジェネレータを開発した。このバイタルサインジェネレータをモバイル PC に搭載し、モバイル PC を USB 接続で無線センサネットワークデバイスに接続すれば提案システムの動作確認実験を視覚的に行うことができる。バイタルサインジェネレータは医学的観点から脈拍数の上限値を 250 回/分、呼吸を 70 回/分としている。さらに単位時間における生体情報の差分が 20 回以下になるように乱数を利用し発生している。

図 7 にバイタルサインジェネレータの設定 GUI を示す。

まず INTERVAL テキストボックスにバイタルサインの入力間隔を設定する。ここに 1500 と入力した場合 1500 msec 間隔でバイタルサインが発生する。FILE NAME テキストボックスに適当なファイル名を入力すると、発生したバイタルサインを記録したテキストファイルが作成される。COM NUMBER には接続するリモートセンサデバイスの COM 番号を入力する。さらにタグの色が変化する傷病者のバイタルサインを設定するために、各 3 段階

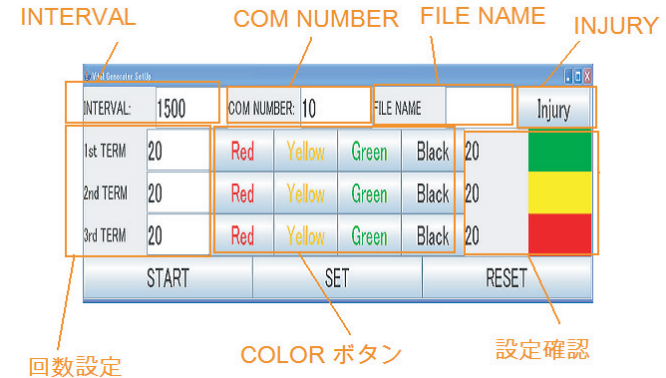


図 7 設定 GUI
Fig.7 GUI of configuration.

に間隔を分け、その間隔で何色相当のバイタルサインを発生させるかを設定できるようにした。1st で COLOR ボタンで赤を押し、回数設定で 20 と入力するとバイタルサインジェネレータの起動と同時に赤相当のバイタルサインが 20 回発生し、提案システムに出力する。設定した回数と色は設定確認で確認できる。1st が終わると、2nd に移る。設定が終わったら SET ボタンで設定した値を確定する。START ボタンを押すとバイタルサインの出力を始める。

モバイル PC で動作するバイタルサインジェネレータで出力したバイタルサインは USB 接続でリモートセンサデバイスに入力される。リモートセンサデバイス内のリアルタイムトリアージ機能によりトリアージが行われ、デバイスに付属する LED が対応する色に点灯する。

図 8 に治療可能人数を入力したときの動作の様子を示す。治療可能人数を入力すると、ホスト PC で入力された人数分を治療優先順位が上位の者から参照し、上位の者のリモートセンサデバイスに LED を点灯することにより呼び出しを行う。

5.2 設定環境

作成したバイタルサインジェネレータを用いて、提案システムの機能検証実験を行った。

(1) 目的

本システムが正常に動作しているか機能検証を行う。

10 治療優先度を付加した自動トリアージシステムの提案

- 治療可能人数の入力



- 治療優先度の高い傷病者に白色のLEDを点灯

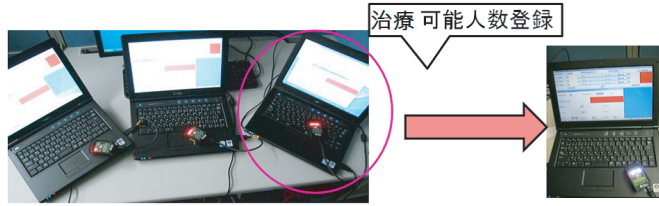


図 8 傷病者の呼び出しの動作
Fig. 8 Behavior of calling patient.

(2) 想定環境

4名の赤タグ傷病者が赤テントに存在する．途中で2名の治療が可能となる．

(3) 実施事項

バイタルサインジェネレータで呼吸，脈拍ともに連続で20回生成する．本提案システムを用いて治療優先レベルを高，中，低に決定する．システムの動作途中でホストPCから治療可能人数を2名と入力する．治療優先度の遷移と，誰が治療のために呼び出しされたかについて記録する．

5.3 実験結果と考察

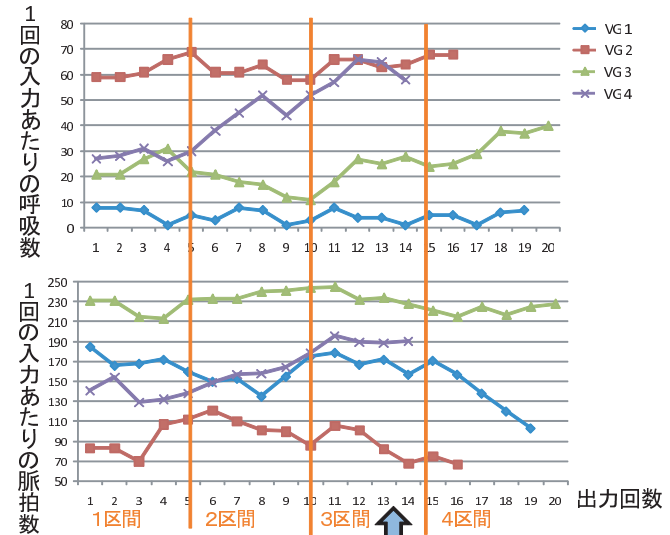
4名の赤タグ傷病者であるので，バイタルサインジェネレータを4台用いて出力した．VG1は傷病者1を，VG2は傷病者2を，VG3は傷病者3を，VG4は傷病者4を表す．この4台をホストPCを用いて相对比较させた．設定GUIでUPDATE INTERVALを5と設定した．したがって変化率はバイタルサインの5回の入力で更新される．

図9に実験結果を示す．

今回変化率に焦点を当てて実験結果を見るため5回の入力ごとに一区切りとし，その一区切りをそれぞれ区間と呼ぶ．

表3にリモートセンサデバイスがホストPCから受信した治療優先レベルの結果を示す．高はレベル高，中はレベル中，低はレベル低，呼ぶは治療呼び出しを示す．

区間1に関してグラフを見ると分かる通り，VG1，VG2，VG3，VG4の値はそれぞれ



搬送可能人数の入力

図 9 実験結果
Fig. 9 Result.

表 3 治療優先レベルの評価結果
Table 3 Result of treatment priority.

	例 1	例 2	例 3	例 4
1 区間	高	低	高	中
2 区間	高	高	低	中
3 区間	高	中	低	高
4 区間	呼	高	低	呼

順に 185, 85, 230, 140 近辺となっている．区間1では変化率の算出ができないため，4台すべての変化率が0となっており，アルゴリズムから脈拍の外れ値を見て治療優先度レベルを算出していく．4.3節において述べた外れ値の算出法より算出していくと，VG1から順に外れ値 65, -35, 110, 20 となる．よって VG1, VG3 の 2 名が優先レベル高になり，VG4 が中，VG2 が低となる．

11 治療優先度を付加した自動トリアージシステムの提案

区間 2 では、変化率の算出が可能となるため、脈拍の変化率を比較する。VG1 から順に変化率は 5, 5, 0, 1 となるため VG1, 2 がレベル高, VG4 がレベル中, VG3 がレベル低となる。区間 3 も同様にして, VG1, VG4 がレベル高, VG2 が中, VG3 が低となる。区間 4 において、治療可能人数が 2 名と入力されたので区間 3 でレベル高であった VG1, VG4 が呼び出される。そして、VG2 が高となり、VG3 は低のままとなる。

この結果により、変化の激しい傷病者を察知し、治療呼び出しが行えたことが分かった。

また、デバイスに LED で呼び出しをかける機能の有効性について述べる。LED デバイスだけではなく、音による呼び出しなど他の可能性も考えられる。しかし、音による呼び出しでは鳴っている場所が不明瞭となる可能性があり、さらに、複数の傷病者が搬送される際、混乱をきたす恐れがあるという理由から排除した。LED デバイスによる呼び出しは傷病者の人数が多い場合においてもライトが固有の点滅を繰り返すため認知性が高く、さらに各傷病者に 1 つずつ接続されているため個別識別が容易であるため有効である。

次に、搬送優先順位を提示することの有効性について述べる。現状のトリアージの問題点として、数十人単位で発生する傷病者の中から治療優先順位を決めるために各色テントに搬送されたのち 2 次トリアージが行われるが、多数の赤タグ傷病者が発生した場合、医療従事者が限られた時間内に傷病者の状態を把握し搬送の順番を決めることは困難である。また、順番を決めるために見捨てなければならない人命も存在する。そういった場合、医療従事者への精神的負担が重くのかかることになる。以上のことから、本システムが治療優先順位を提示することで搬送順位決定のための時間の軽減、医療従事者の精神的負担を減らすことができるため効果的であるといえる。

最後に、人数入力 GUI の有用性について述べていく。人数入力 GUI はトリアージに求められる要件をふまえて、医療従事者の意見を考慮しながら設計を行った。本研究は自動トリアージシステム構築の第 1 段階として試作機を作成し動作確認を行ったのみであるため、これから傷病者の生体情報を集め、評価実験を積み重ねていくことで入力 GUI が必要な機能を兼ね備えているか、妥当性の可否が明確になっていくと考える。以上のことから本システムの入力 GUI は機器の機能検証のための試作機としての機能は備えていると考えるが、今後、実証実験のための実装、実用化のための実装を行う際には GUI の改良が必要となると考える。また、本システムは工学的専門知識のない医療従事者に意見を仰ぐ際に自動トリアージシステムとは何かということの具体的なイメージが湧きやすいよう作成した試作機でもある。本システムを医療従事者へ提示し、意見を仰ぎ人数入力 GUI をさらに改良していく必要がある。

5.4 今後の課題

3.1 節の中で述べた本システムに求められる要件と本システムの機能を比較し、今後の課題について述べる。

本システムに求められる要件 (1) 生体情報の自動取得および自動集積によるリアルタイムな傷病者の容体把握、容体比較に関してはセンサおよび SunSpot を用いることで可能となった。

(2) 傷病者の生体情報比較による治療優先順位の自動算出に関してだが、4 名の人工的に生成したデータを用い実験的に機能検証を行った。しかし、本システムは自動トリアージシステムの機能検証のための試作機であるため、災害現場での大人数による実験を行っていない。そのため人数が数十人規模へと増加した際、次のような影響が起こればと考えられる。治療優先度決定アルゴリズムに関して、現状のアルゴリズムのままでは数十人規模になった際、優先順位の近い傷病者間で優先順位が頻繁に入れ替わることが起こりうるため、どちらかの傷病者を優先させるのか決定するための医学的知見をアルゴリズムに組み込む必要がある。また、人数が増加することで種々様々な傷病者が発生することに付随して特異な生体情報の推移をする傷病者の取扱いなどの問題があげられる。この問題に関しては傷病者の生体情報の推移データを集め精度を上げるしかない状態である。今後、傷病者の生体情報を集め、アルゴリズムの改良を行っていく必要がある。

(3) 治療優先順位を決定し実際に搬送を行う際、どの傷病者が搬送されるのか医療従事者へ通知する機能に関して、SunSpot に搭載された LED を利用することで個別識別が可能で認知性の高い呼び出しが可能となった。

また、本システムでは通信方式として SunSpot が Zigbee を用いているため Zigbee を用いたネットワーク構成を採用した。Zigbee 方式での利点は数百のノードが多対多のアドホックネットワークを構成することが可能なことである。この利点を生かし、残電力の少ないノードを回避し、残電力の多いノードを通る経路を選択する通信プロトコルや、さらに、トリアージに特化した搬送（離脱）するノードを考慮した通信プロトコルも考案されてきている。

欠点としては衝突に弱いため数が増えていくとパケットロスが増えてしまうことがあげられる。そのため衝突の影響を抑えるために、複数経路から同一パケットを送信する通信プロトコルなどが必要となると考えられる。さらに、人数の増加にともない広い場所での実験が必要となるため SunSpot の通信におけるホップ回数も増加していく。ホップ回数増加による減衰の影響があるため、目標となるノードにパケットが届かないことが起こりう

る．よって、情報の信頼性を向上させるためにパケットロスを回避するための通信プロトコルが必要となる．

6. おわりに

従来のトリアージに基づく医療活動では電子化が行われていないため、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、医療従事者が多数の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．

本研究では無線センサネットワークを利用し、傷病者を従来の絶対基準によるトリアージ評価により分類した後、生体情報と外傷の情報をもとに傷病者同士を相対的に比較し、同じ色に分類された傷病者集団の中でどのくらい治療を優先するのかを自動的に割り出すシステムを提案した．

システム評価用に作成した人間のバイタルサイン発生装置バイタルサインジェネレータを用いて評価したところ、システムがリアルタイムに変化する傷病者の生体情報を取得し、バイタルサインが急激に変化している傷病者を割り出すことが可能であるという結果が得られた．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、治療を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業務課 (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目指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

テムの実証実験, 情報処理学会論文誌, Vol.48, pp.802-810 (2007).

- 7) 園田章人, 井上創造: 救急活動における個人情報効率よい利用について, 電子情報通信学会第 18 回データ工学ワークショップ (2007).
- 8) 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)
- 9) 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)
- 10) 丸山征四郎: 経験から学ぶ大規模災害医療, 永井書店 (2007).
- 11) 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 (2009).
- 12) Gao, T., Massey, T., Selavo, L., Welsh, M. and Sarrafzadeh, M.: Participatory User Centered Design Techniques for a Large Scale Ad-Hoc Health Information System, *Proc. 1st ACM SIGMOBILE*, pp.43-48 (2007).
- 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) 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 21 年 4 月 6 日受付)

(平成 21 年 10 月 2 日採録)



栖閑 邦明 (学生会員)

2008 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．



杉山 阿葵 (学生会員)

2007年慶應義塾大学工学部情報工学科卒業。グループワーク支援の研究に従事。2009年同大学大学院理工学研究科修士課程修了。現在、日本経済新聞(株)勤務。



長橋健太郎 (学生会員)

2009年慶應義塾大学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、ヒューマン・コンピュータ・インタラクション。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 IE 領域委員長、日本 VR 学会理事、CS 研究会委員長。情報処理学会論文賞 (1996, 2001, 2008 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、ICAT'07 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。