

負傷者・医療者間人体通信を用いる 電子トリアージ・システム

坂主圭史^{†1,†2} 鈴木 淳^{†1} 白石 多一郎^{†1}
稗田拓路^{†1,†2} 武内良典^{†1,†2} 今井 正治^{†1,†2}

多数の負傷者が同時に発生する災害現場での医療活動を支援するために、負傷者の生体情報を収集し、無線で救急指揮所のサーバに送信し、負傷者の状況をリアルタイムで把握することができる電子トリアージ・タグが提案されている。本稿では、この電子トリアージ・タグに人体通信機能を搭載することで、医療者の活動状況を確認し、負傷者による優先度の変更防止を実現する電子トリアージ・システムを提案する。

Electronic Triage System with Human Body Communication between Casualties and Medical Staffs

KEISHI SAKANUSHI,^{†1,†2} JUN SUZUKI,^{†1}
TAICHIRO SHIRAISHI,^{†1} TAKUJI HIEDA,^{†1,†2}
YOSHINORI TAKEUCHI^{†1,†2} and MASAHARU IMAI^{†1,†2}

To support medical services in the disaster scene where a lot of injured persons occur at the same time, we have proposed an Electronic Triage Tag which collects vital signs of injured person and transmits them to a server by the wireless communication. This paper introduces an Electronic Triage Tag with human body communication which can grasp not only situation of casualties but also rescue activity by medical staffs and can prevent a casualty changing his condition and priority.

†1 大阪大学 大学院情報科学研究科

Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

†2 独立行政法人科学技術振興機構, CREST

Japan Science Technology and Agency, CREST

1. はじめに

多数の負傷者が同時に発生する災害現場では、医師、看護師、救急救命士、救急隊員、医療機器などの医療資源が絶対的に不足する。このような災害現場では、多数の負傷者に対して「最大多数の負傷者に最善の医療」を施すために、治療や受入病院へ搬送する優先度を決定するトリアージを実施する。現在、災害現場では、トリアージ担当官が負傷者の脈拍、呼吸、意識などの生体情報から治療や搬送の優先度を決定し、紙製のトリアージ・タグ(図1)から不要な色を切り取って負傷者に装着することで、負傷者の治療と搬送の優先度を管理している。しかし、紙製のトリアージ・タグは、トリアージを実施した時点での負傷者の状態を表しているが、負傷者の状態をリアルタイムに反映していないため、急に状態が変化して治療や搬送の優先度が高くなった負傷者がいたとしても、そのような負傷者を発見し対応することが難しい。また、紙製のトリアージ・タグは、夜間の屋外や停電中の地下施設(地下街や地下鉄など)のような暗所では視認することが難しく、負傷者の全体的な状況を把握しづらい。そこで、負傷者の状態をリアルタイムで監視し表示することで、暗所でも医療者が負傷者の全体的な状況を把握しやすくし、状態が急に悪化した負傷者を発見し、「最大多数の負傷者に最善の医療」を施すことを目指した、災害現場医療を支援する電子トリアージ・タグが提案されている^{1),2)}。

電子トリアージ・タグは、負傷者の状態を入力することで、負傷者の優先度を決定して電子トリアージ・タグに表示し、負傷者の状態が急に悪化した場合には、負傷者の状態、優先度、状態の悪化を表示する。また、電子トリアージ・タグは、負傷者の脈拍数、呼吸数、SpO₂(経皮的動脈血酸素飽和度: percutaneous arterial oxygen saturation)などの生体情報を収集し、無線で送信することで、災害現場の負傷者の状態を一元的にリアルタイムで監視する。

文献^{1),2)}で提案されている電子トリアージ・タグを用いることで、災害現場の負傷者の状態を一元的に把握することができるが、負傷者の取り違えを防止する機能や負傷者が治療や搬送の優先度を変更することを防止する機能がない。

そこで本稿では、負傷者と医療者間で人体通信を行うことで、負傷者の取り違えを防止し、負傷者による優先度の変更を防止する電子トリアージ・タグを提案する。従来の電子トリアージ・タグに負傷者と医療者間の人体通信を導入することで、医療者が負傷者の治療や搬送のために負傷者に触れるだけで、医療者がどの負傷者のところにいるかを救急指揮所で把握できるようになるため、医療者の負担軽減にもつながる。



図1 紙製のトリアージ・タグ

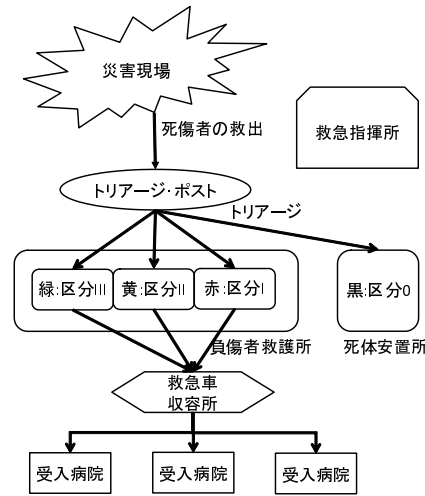


図2 災害現場での救命救急活動の概要

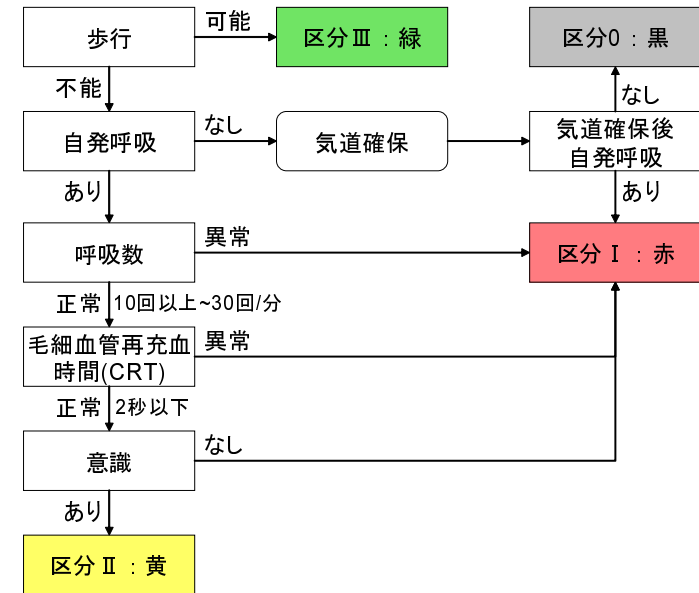


図3 START法

以下、第2章では紙製のトリアージ・タグの特徴と問題点について述べ、第3章では提案している電子トリアージ・タグの特徴と機能について述べる。第4章では人体通信を用いた電子トリアージ・システムについて提案し、第5章にまとめと今後の課題を述べる。

2. 紙製のトリアージ・タグ

本節では、紙製のトリアージ・タグを用いた災害現場での救命救急活動(図2)について述べる。

1995年に発生した阪神・淡路大震災の教訓をもとに、1996年からトリアージ・タグが標準化されている³⁾。紙製のトリアージ・タグ(図1)の下部には、黒、赤、黄、緑の切り取り式のタグが付いており、負傷者の治療や搬送の優先度に応じて、不要な色のタグを切り取って、負傷者に装着することで、負傷者の治療や搬送の優先度を管理する。

紙製のトリアージ・タグによる災害現場での医療活動として以下の点が指摘されている。
問題点1 負傷者の状態を記録に時間がかかる 図1に示す紙製のトリアージ・タグには、負傷者の個人情報やトリアージ担当官に関する情報を記入する箇所がある。しかし、短時間で多数の負傷者が発生する災害現場では、「一人の負傷者を30秒から1分でトリアージすること」とされており、負傷者の状態を記録する十分な時間がない。

問題点2 暗所の災害現場での負傷者管理が難しい 負傷者救護所が確保出来ない場合や、負傷者を災害現場からすぐに移動することが困難な場合は、災害現場でトリアージを実施して、紙製のトリアージ・タグを装着することがある。特に、夜間や停電中の地下施設(地下街や地下鉄など)のように光源に乏しい環境で災害が発生し、災害現場においてトリアージを実施した場合、紙製のトリアージ・タグでは、応援の医師や救急隊員がどの優先度の負傷者がどこにいるのかを把握するのは困難である。

問題点3 トリアージ後の負傷者の状態を表していない 紙製のトリアージ・タグは、トリアージを実施した時点での負傷者の治療や搬送の優先度を分かりやすく表しているが、現在の負傷者の状態や優先度を反映していない。そのため、トリアージ実施後に負傷者の状態が悪化しより優先度が高くなったとしても、負傷者の優先度が変更されないため、状態の悪化が発見されず、治療や搬送が後回しにされ、最悪の場合には、災害現場の負傷者救護所で死亡することも考えられる。

問題点4 災害現場における全体的な負傷者の状況を一元的に管理出来ない トリアージ担

当官や負傷者救護所で治療に当たっている医療者が状態が悪化した負傷者を発見した場合は、その負傷者に関する状況が救急指揮所にトランシーバなどで報告され、救急指揮所からの指示で、状態が悪化した負傷者に医療資源を投入する。しかし、発見されなかった状態が悪化した負傷者に対しては対応が遅れ、最悪の場合には、災害現場の負傷者救護所で死亡することも考えられる。

問題点 5 負傷者を取り違える可能性がある 状態が悪化した負傷者が発見された場合は、救急指揮所からの指示で医療者がその負傷者の元へ移動し、治療や状態の確認にあたる。救急指揮所からの医療者への指示はトランシーバや携帯電話などで行われるが、混乱する災害現場では、言い間違い、聞き間違いなどによる取り違えが懸念されている。

問題点 6 負傷者が自らの優先度を変更してしまう 負傷者の治療や搬送の優先度は、紙製のトリアージ・タグから不要な色を切り取ることで管理している。そのため、負傷者自らがタグを切り取って優先度を変更してしまう可能性が指摘されている。負傷者自らが優先度を勝手に変更してしまった場合、治療や搬送の優先度が混乱してしまい、本来は優先度が高かった他の負傷者が死亡することが懸念されている。

これらの問題点に対して、災害現場での救命救急活動を円滑に行うシステムが提案されている。文献 4)–10) では、災害現場でトリアージするときに、負傷者の状態を電子ペンや情報端末から入力し、無線でサーバに送信するシステムを提案しているが、これらのシステムは、災害現場での負傷者の全体状況の把握には有効であるが、トリアージ後に起きる負傷者の状態の悪化、治療や搬送の優先度の変化は反映していない。文献 11)–14) は、状態が急変した負傷者を救急本部で発見できるが、負傷者に取り付ける電子システムには負傷者の状態を表示しないため、災害現場にいる医療者が状態が悪化した負傷者を発見することは難しい。文献 15) は、紙製のトリアージ・タグの区分を表す色に蛍光塗料を用いることで視認性を向上させているが、夜間や停電中の地下街や地下鉄など、光源が乏しい環境下では紙製のトリアージ・タグと同程度の視認性しかない。文献 16)–18) では、人体通信を使用して医療者のみが負傷者の優先度を書き込めるシステムを提案しているが、負傷者の取り違え防止の機能はない。

3. 電子トリアージ・タグ

我々は、前節で挙げた問題点を解消するために、電子トリアージ・タグを提案している¹⁾。本節では電子トリアージ・タグについて紹介し、災害現場で電子トリアージ・タグが使用された場合に期待される効果について述べる。



図 4 eTriage-Light の使用例



図 5 電子トリアージ・タグの入出力部

3.1 電子トリアージ・タグの構成

我々は電子トリアージ・タグとして eTriage-Light²⁾(図 4) を提案している。eTriage-Light は、2 個のプッシュ・スイッチ、8 個の RGB LED、IEEE 802.15.4 無線モジュール、制御ユニット、センサーユニットから構成される。eTriage-Light は図 4 のように装着し、指先のセンサから脈拍数、SpO₂ を測定する。

3.2 ボタンによる負傷者の状態の入力機能

電子トリアージ・タグには、図 3 に示す START 法に基づいてトリアージする場合に必要な判定項目が表示されている(図 5)。トリアージ担当官は負傷者を診察し、LED が白色に点灯した判定項目に対する負傷者の状態を YES/NO に対応するボタンを用いて入力する。

START 法によるトリアージで、負傷者が歩行可能であれば負傷者の治療や搬送の優先度は区分 III(緑)となり、他のトリアージの判定項目に関する入力が行われない。電子トリアージ・タグには、START 法に従って負傷者の優先度の区分するために必要な負傷者の状態のみを入力する。

START 法では負傷者の循環器系の評価として CRT(毛細血管再充血時間: capillary refill time) を用いる。電子トリアージ・タグはセンサで負傷者の脈拍数が取得できるので、電子トリアージ・タグを使用してトリアージをする場合は、循環器系の評価として CRT の代わりに脈拍数を使用し、脈拍数が 30 以上 120 以下の場合には正常と判断する。

3.3 LED 表示による負傷者の状況把握機能

停電時の地下施設や夜間などの暗所では、電子トリアージ・タグは LED で負傷者の優先度の区分を表示するため、発光しない紙製のトリアージ・タグに比べて負傷者の優先度の区分が視認しやすい。これらの機能により、医療者は電子トリアージ・タグの LED による優先度の区分の表示によって、災害現場に居る負傷者の優先度の区分の状況を把握しやすくなる。

3.4 LED 表示による負傷者の急変表示機能

電子トリアージ・タグは、センサから収集した負傷者の脈拍数、呼吸数、SpO₂ のいずれかが正常値から異常値に変化したこと（以下、急変という）を検知すると、電子トリアージ・タグの LED を負傷者の優先度の区分を示す色から青色に変え、ブザーを鳴らすことで負傷者の周囲の医療者へ負傷者の状態の急変を知らせる。電子トリアージ・タグによる急変表示機能により、急変した負傷者を医療者が的確に把握しやすくなり、治療や搬送の手遅れで死亡してしまう負傷者を減らすことができる。

3.5 無線通信による負傷者の生体情報管理機能

電子トリアージ・タグは、センサから負傷者の脈拍数と SpO₂ 値を 1 秒毎に収集し、収集した生体情報を無線通信機能を用いて PC に集約し、救急指揮所や負傷者救護所で医療者に提示することで、災害現場の全ての負傷者の状態を把握することができる。これにより、急変した負傷者が多い負傷者救護所に動的に医療資源を再配置することが可能になり、災害現場で死亡してしまう負傷者を減らすことができる。

4. 負傷者・医療者間の人体通信を用いる電子トリアージ・システム

文献²⁾で提案した eTriage-Light を使用することで、問題 1~4 を解決することができる。そこで本稿では、文献²⁾で提案した eTriage-Light に人体通信機能を搭載し、残された問題 5~6 に対して、

- どの医療者がどの負傷者の治療や搬送に当たっているかを把握し、
- 医療者が対象の負傷者タグのみを操作できるような、

電子トリアージ・システムを提案する。医療者は診察や治療をするために負傷者に触れるため、人体通信を用いれば医療者に負担を強いることなく情報をやりとりできるようになる。

4.1 人体通信

人体通信は、人体を伝送路として情報を送受信する方式の総称である。人体通信は主に電流方式と電界方式に分けることができる。電流方式は、送信器の電極から人体内に微弱な電

流を流してデータを送信して、受信器の電極でデータを受信する方式である。電界方式は、送信器の電極の電圧を変化させることで人体の体表面周辺の電界を変化させてデータを送信し、受信機の電極で電界の変化からデータを受信する方式である。災害現場での医療活動では感染防止のため医療者はゴム手袋を装着しているため、本稿では直接人体内に電流を流す電流方式ではなく、人体の体表面周辺の電界を利用する電界方式を、電子トリアージ・システムに採用する。

近距離無線通信を使用して、負傷者と医療者間の距離を測定し、求められた距離からどの医療者がどの負傷者の近くにいるかを推定することも可能ではあるが、近距離無線通信だけでは、ではどの負傷者を診察や治療しているかまでは把握することはできない。

また文献 6) のように、RFID タグを内蔵したトリアージ・タグを使用して、医療者が負傷者の診察や治療をするときにタグ・リーダで負傷者の ID を読み取る方法も考えられる。しかしこの方法では、医療者が負傷者への医療行為以外に、リーダで読み取るという動作をする必要があり、負傷者の救命に集中できない恐れがある。また文献 18) では、トリアージにおける人体通信方式と RFID タグ方式では、人体通信方式では医療者に余計な動作を発生させないことが報告されている。

4.1.1 人体通信による負傷者の取り違え防止

問題 5 に示した負傷者の取り違えを防止するために、本稿では、負傷者は人体通信で負傷者の ID を送信し続け、医療者は、人体通信の受信機能と無線通信機能を持つ医療者タグを装着し、負傷者に治療のために触れた瞬間に負傷者 ID を取得ことにする。

人体通信機能を使用した負傷者の取り違えを防止手順を以下に示す。

- (1) 救急指揮所から医療者へ、治療や搬送すべき負傷者を指示する。
- (2) 救急指揮所では、指示した医療者が持つ医療者タグに、対応すべき負傷者の ID を送信する。
- (3) 医療者が負傷者に触れることで、負傷者の ID を取得する。
- (4) 医療者タグから救急指揮所へ接触した負傷者の ID を送信する。
- (5) 医療者タグでは、人体通信で受信した ID が、救急指揮所から指示を受けた負傷者の ID と一致しているかを確認し、一致していなければ、スピーカーより警告を発する。
- (6) 救急指揮所では、医療者タグから受信した接触した負傷者の ID と医療者に指示した負傷者の ID が一致するかを確認し、一致しなければ、警告を発する。

以上のようにすることで、医療者が負傷者に触れた瞬間に負傷者 ID を取得し、医療者タグと救急指揮所で 2 重にチェックすることで負傷者の取り違えを防止する。

4.1.2 負傷者による優先度変更防止

問題 6 に示した負傷者による優先度変更を防止するために、前節でも使用した人体通信による負傷者 ID を利用する．具体的な優先度防止方法を以下に示す．

- (1) 負傷者タグは、通常状態では負傷者の状態の入力を受け付けない．
- (2) 医療者が負傷者に触れることで、負傷者の ID を取得する．
- (3) 医療者タグから、負傷者タグに対して、無線通信を用いて 優先度の変更許可を与える．
- (4) 負傷者タグでは、医療者タグから優先度の変更許可を受信しているときのみ、負傷者の状態の入力を受け付け、優先度の判定を行う．
- (5) 医療者タグから優先度変更の許可を受信しても、一定時間が経過したら、負傷者の状態の入力を受け付けない．

以上のようにすることで、医療者が触れた負傷者 ID に対応する負傷者タグのみが一定時間だけ優先度を変更できるようになり、医療者が立ち去ったあとに負傷者が優先度を変更してしまうことを防止できる．

4.2 試作した電子トリアージ・システム

本節では、試作した上述の機能を備えた電子トリアージ・システムについて紹介する．図 6 に提案する電子トリアージ・システムの構成と通信の概要を示す．電子トリアージ・システムの構成は、負傷者タグ(図 7)、医療者タグ(図 8)、救急指揮所サーバから構成される．負傷者タグでは、文献²⁾で提案した電子トリアージ・タグに人体通信の送信回路と電極(図 7 中央部)を搭載した．また、救急指揮所サーバと無線通信可能な医療者向けの端末(以下、医療者端末という)を新たに開発した．医療者端末には人体通信の受信機能を搭載した．開発した負傷者タグと医療者タグの構成をそれぞれ図 9、図 10 に示す．

救急指揮所サーバでは、負傷者タグから送信されてくる負傷者の生体情報、状態、優先度を一覧で表示し、状態が悪化した負傷者を発見した場合は、警告を発する．また医療者タグから送られてきた負傷者 ID をもとに、どの医療者がどの負傷者を治療しているかを表示する．また、医療者に指示した対応すべき負傷者の情報を負傷者タグに送信する．医療者が負傷者に接触して得た負傷者 ID が指示した負傷者 ID と異なる場合には、警告を発する．

4.3 負傷者・医療者間の人体通信

提案する電子トリアージ・システムでは、負傷者タグから人体通信で負傷者 ID を医療者タグに送信する．

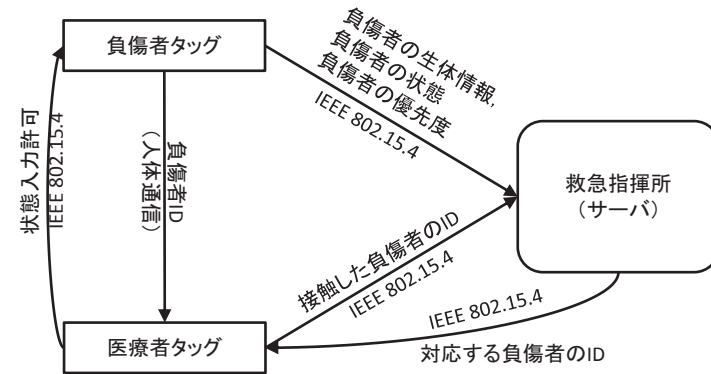


図 6 負傷者・医療者間の人体通信を用いる電子トリアージ・システムの構成と通信



図 7 人体通信機能を搭載した負傷者タグ



図 8 人体通信機能を搭載した医療者タグ

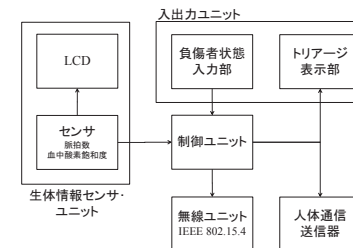


図 9 負傷者タグの構成

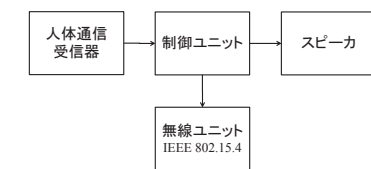


図 10 医療者タグの構成

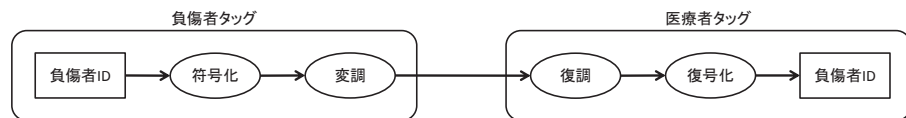


図 11 負傷者・医療者間の人体通信

負傷者タグでは、負傷者 ID を Biphase Mark Code(BMC) 符号で符号化し検査ビットを付加し、シリアル通信プロトコルで人体通信送信器へ送る。人体通信送信器では、入力された信号を ASK 変調してから電極から人体へ電界を発生させる。シリアル通信のパラメータは、1200bps, 8bit, パリティなし、ストップビットなしを使用する。また ASK 変調では搬送波として 2MHz の矩形波を使用する。負傷者タグからは 100ms 毎に負傷者 ID を人体通信で送信する。

医療者タグでは、電極から得た電界の変化を元に人体通信受信機でシリアル信号に復調し、制御部で復号して負傷者 ID を得る。

5. まとめと今後の課題

本稿では、人体通信機能を電子トリアージ・タグに搭載することで、負傷者の取り違い防止と負傷者による優先度の変更を防止する電子トリアージ・システムを提案し実装した。

今後の課題としては、災害演習などを通して、提案する電子トリアージ・システムを使用することで、災害現場での混乱を低減できることを示すことがあげられる。

謝辞 本研究を進めるに当たって、貴重なご意見を頂いた大阪大学の東野輝夫教授、山口弘純准教授、廣森聡仁助教、内山彰特任助教、株式会社カイザーテクノロジー 加藤康男氏、静岡大学 西垣正勝准教授に感謝する。

本研究の一部は、科学技術振興事業団「JST」の戦略的基礎研究推進事業「CREST」における、研究領域「先進的統合センシング技術」の研究課題「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」の支援を受けて実施した。

参考文献

1) 坂主 圭史, 岡本 潤也, 稗田 拓路, 今村 多一郎, 武内 良典, 北道 淳司, 今井 正治, “災害医療支援のための電子トリアージ・システム,” 組込みシステムシンポジウム 2009 論

文集, Vol. 2009, No. 10, pp.147-152, 2009.

- 2) 坂主 圭史, 廣森 聡仁, 今村 多一郎, 岡本 潤也, 稗田 拓路, 武内 良典, 今井 正治, 北道 淳司, 東野 輝夫, “災害医療支援ネットワークのための軽症者用負傷者端末,” 電子情報通信学会 技術研究報告 (VLD2009-37), Vol 109, No. 201, pp.45-50, 2009.
- 3) 厚生省健康政策局指導課長通知 指第十五号, 2006 年 3 月 12 日 .
- 4) 特許公開 2004 - 240797, “トリアージタグ管理システム,” 2004.
- 5) 登録実用新案第 3121007 号, “トリアージ・タグ,” 2006.
- 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, 第 48 巻, 第 2 号, pp.802-810, 2007.
- 7) 特許公開 2007 - 172010, “トリアージタグ使用による負傷者管理システム,” 2007.
- 8) 特許公開 2008 - 279032, “情報入力端末装置及び情報入力方法及び情報入力プログラム,” 2008.
- 9) 特許公開 2008 - 282218, “災害救護支援システムおよび災害救護支援方法,” 2008.
- 10) 特許公開 2008 - 305301, “情報処理装置, プログラム及びトリアージタグ,” 2008.
- 11) D. Malan, T. Fulford-Jones, M. Welsh, and S. Moulton, “CodeBlue: An Ad Hoc Sensor Network Infrastructure for Emergency Medical Care,” Proceedings of International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks, pp.12-14, 2004.
- 12) V. Shnayder, B. Chen, K. Lorincz, T. R. F. Fulford-Jones, and M. Welsh, “Sensor Networks for Medical Care,” Technical report, Harvard University (2005).
- 13) T. Gao, T. Massey, L. Selavo, D. Crawford, B. Chen, K. Lorincz, V. Shnayder, L. Hauenstein, F. Dabiri, J. Jeng, A. Chanmugam, D. White, M. Sarrafzadeh, and B. Welsh, “The Advanced Health and Disaster Aid Network: A Light-Weight Wireless Medical System for Triage,” IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems, Vol.1, No.3, pp.203-216, 2007.
- 14) T. Gao, C. Pesto, L. Selavo, Y. Chen, J. Ko, J. Lim, A. Terzis, A. Watt, J. Jeng, B. Chen, K. Lorincz, and M. Welsh, “Wireless Medical Sensor Networks in Emergency Response: Implementation and Pilot Results,” Proceedings of 2008 IEEE International Conference Technologies for Homeland Security, pp. 187-192, 2008.
- 15) 登録実用新案第 3053755 号, “トリアージタグ,” 1998.
- 16) 安倍 史江, 西垣 正勝, “人体通信による電子トリアージタグへの情報伝達の提案,” 2009 年暗号と情報セキュリティシンポジウム概要集, pp.353, 2009.
- 17) 安倍 史江, 山本 匠, 西垣 正勝, “人体通信による電子トリアージタグへの情報伝達: システムの実装,” マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2009) シンポジウム論文集, pp.1849-1854, 2009.
- 18) 安倍 史江, 山本 匠, 藤川 真樹, 加藤 康男, 西垣 正勝, “人体通信を利用した電子トリアージタグへの情報入力: 評価実験,” コンピュータセキュリティシンポジウム 2010 論文集, 2010.