

東野 輝夫

大阪大学大学院情報科学研究科・教授

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

## §1. 研究実施体制

### (1) 大阪大学東野グループ

① 研究代表者: 東野 輝夫 (大阪大学 大学院情報科学研究科 教授)

#### ② 研究項目

- 生体センシング機能を備えた傷病者端末の設計開発
- アドホックネットワークの構築技術開発・実装
- 地図形成・表示技術の開発と実装
- 位置トレース技術の開発
- 評価システムの実装

### (2) 大阪大学今井グループ

① 主たる共同研究者: 今井 正治 (大阪大学 大学院情報科学研究科 教授)

#### ② 研究項目

- 生体センシング機能を備えた傷病者端末の設計開発
- 医療者端末の設計開発

### (3) 順天堂大学田中グループ

① 主たる共同研究者: 田中 裕 (順天堂大学 医学部附属浦安病院救急診療科 教授)

#### ② 研究項目

- 生体センシング機能を備えた傷病者端末の設計開発
- 評価システムの実装

### (4) 慶應義塾大学岡田グループ

① 主たる共同研究者: 岡田 謙一 (慶應義塾大学 理工学部情報工学科 教授)

## ②研究項目

- 生体センシング機能を備えた傷病者端末の設計開発
- 医療者端末の設計開発
- 搬送順決定アルゴリズムの開発

## (5) 静岡大学西垣グループ

①主たる共同研究者:西垣 正勝(静岡大学 創造科学技術大学院 教授)

## ②研究項目

- アドホックネットワークの構築技術開発・実装
- 位置トレース技術の開発

## (6) 奈良先端科学技術大学院大学 安本グループ

①主たる共同研究者:安本 慶一(奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 教授)

## ②研究項目

- アドホックネットワークの構築技術開発・実装
- 地図形成・表示技術の開発と実装

## § 2. 研究実施内容

(文中に番号がある場合は(3-1)に対応する)

本研究開発では、列車事故やテロ、ビル災害など数百人以上の傷病者が短時間に発生するような状況を想定し、各傷病者に装着した脈拍センサや血流センサなどからのセンシング情報を収集すると共に、災害現場に臨時に敷設した無線ネットワークとの間にアドホックネットワークを構築することで、傷病者の位置や病状変化をリアルタイムで監視・収集・整理し、初期に救命活動を行う消防関係者や医療チームにその情報を図的に提示すると共に、一定のルールに基づき救命緊急度が高い(搬送優先度が高い)傷病者を提示できるような救命救急医療支援システムを構築することを研究目標とする。平成23年度は、システム開発や実用性を重視した研究開発を重点実施している。特に、電子トリアージタグの高機能化と軽量化、データ収集プロトコル実装と無線メッシュネットワークアーキテクチャの設計開発、傷病者の位置およびID認識技術の開発、ならびにトリアージタグシステムシミュレーション技術開発などを行い、救命救急医療支援システムの必要機能の検討と機能実装を行っている。

### (1) 高機能電子トリアージタグ(傷病者端末)の高度化および小型軽量化

災害時救命救急支援システムのコアコンポーネントとして、傷病者の血中酸素濃度、脈拍数、ならびに呼吸数のパラメータをリアルタイムにセンシングし、そのデータを隣接する傷病者端末を介してサーバに集約する電子トリアージタグを開発してきたが、本年度は、順天堂大学病院での

運用時アンケートなどを通じて従来から要望や改善の意見が多かった装着時の負担感軽減をめざした小型化を行った。人体通信機能を含む複数の機能モジュールをシングルボードに実装し、全長を 34mm 短縮することで高齢者や児童への低負担での装着も可能としている(図1)。またブザーによる傷病者の容体悪化通知機能などの付加機能も追加している(文献2, 8)。

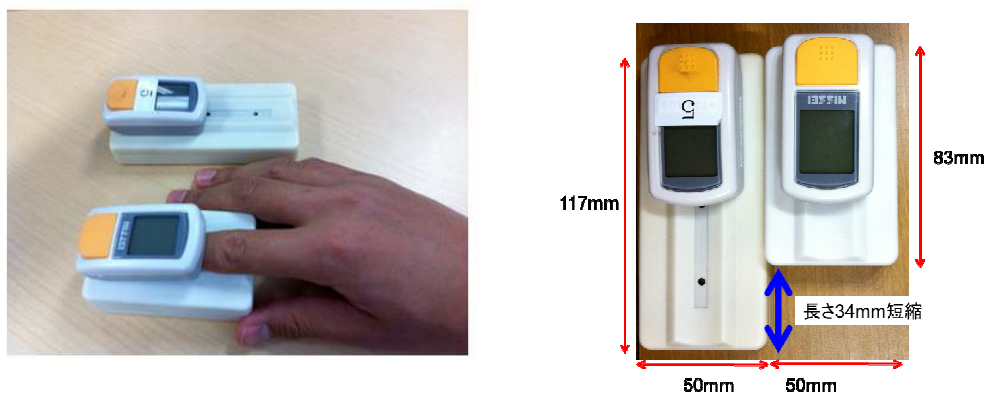


図 1: (左)小型化タグの装着例(右)従来型とのサイズ比較

## (2) アドホック無線メッシュネットワークの技術開発

開発している電子トリアージタグは、IEEE802.15.4 により隣接するタグ同士を接続するマルチホップネットワークを構築することでデータ収集を実現するが、無線相互干渉と競合型メディアアクセス制御(CSMA/CA)の性能限界による通信容量制約、IEEE802.15.4 スループットによるタグ間リンク容量制約、ならびにタグ移動によるネットワークポロジ変動のもとでも各タグからの傷病者データを損失なく基地局へ配送する技術が必要となる。本年度は実運用を視野に、基地局までのツリー状経路を構築するプロトコルをタグ上に実装した(文献11)。トリアージ剤の 100 名の傷病者からセンシングデータを収集する現実的なシナリオを 10 台のタグで再現するストレステストを実施し、上記の要因による性能限界を調査した結果、データ配送率が 80%程度まで低下する可能性があることがわかった。

この結果などを受け、より信頼性の高いネットワークアーキテクチャを検討した。まず、3G 携帯電話網、IEEE802.11s および IEEE802.15.4 の複数のネットワークインタフェースを備え、GPS による位置情報取得が可能なアドホック無線メッシュネットワーク基地局を開発した。開発した基地局は折り畳み可能な形状であり、可搬性に優れるといった特長を持つ(図2)。複数の基地局を設置することで、タグからのデータを複数方向に分散送信でき、また基地局間で IEEE802.11s メッシュネットワークを構築することで、3G 回線負荷が高い基地局やバッテリー残量が低い基地局に到着したデータをメッシュネットワークで迂回させて別基地局から送信するといった柔軟な運用も可能となる。



図2:パイロン型基地局

このネットワークアーキテクチャ上で動作する傷病者データ収集プロトコルとしては様々な選択肢が考えられるが、いずれにおいても危険度が高く緊急の処置を要する傷病者のデータを確実に配送することが最優先課題となる。これに対し、(1) 緊急度の低い傷病者データのセンシング頻度を下げるなどして適応的に調整し、緊急度の高い傷病者のデータ到達率を確保するルーティング技術(文献9)、および(2) 複数経路を活用し、緊急度の高い傷病者のデータを低遅延で配送するルーティング技術(文献15, 16)を開発し、シミュレーションなどによる性能評価を行っている。来年度は基地局間メッシュネットワークのより積極的な活用を目指したプロトコル設計を行うとともに、電子トリアージタグ上にこれらを実装して実証実験を行い、救命救急支援システム向けのコンポーネントとする予定である。

### (3) 傷病者の位置を把握しその ID を認識する技術の開発と実装

IEEE805.15.4 などの近距離無線をベースに、位置基準点(たとえば GPS を持つ基地局が設置された地点)間を移動する医療者や傷病者の位置推定技術をこれまでに設計開発してきたが、本年度は移動する医療者端末を活用し、無線通信が障害物によりブロックされて位置推定誤差が増大する問題を解決する位置推定技術(文献1)や、そのような領域における電波死角地域の解消技術(文献17)などを開発している。これらを含め、本研究開発課題でこれまでに開発してきた位置推定関連技術では、電子トリアージタグが内蔵する IEEE802.15.4 のみを用い、災害事故現場全体(例えば数百メートル四方)における医療者/傷病者位置を精度数 m~10m 程度で特定することで、医療者による傷病者認識を支援することを目標としてきた(超音波と無線による TDoA システムのような高精度測距デバイスを活用すれば誤差 1m 未満の精度も可能であることも示している)。しかしより現実的な傷病者認識支援のためには、例えば周囲 10m 程度の視野範囲に存在する傷病者から緊急処置が必要な傷病者を素早く判断できることも重要となる。そこで、電子トリアージタグが有する LED を用いたタグ ID の可視光発信技術を開発し、医療者端末のカメラを用いて現実視野の傷病者とタグの ID をひも付けするシステムのプロトタイプを開発した。また処置を施している傷病者 ID の正しい認識のため、従来から開発している人体通信技術の信頼性を向上させ、手袋をはめたスタッフ間でも接触による ID 認識を安定的に実現できるようになっている(図 3)。

送信 (傷病者)	検出できた誤りの割合(%)						受信したデータが誤っていた割合(%)					
	受信(医療スタッフ)						受信(医療スタッフ)					
	A	B	C	D	E	全体	A	B	C	D	E	全体
A		0.2	0.5	0.0	0.0	0.2		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
B	0.2		1.1	1.0	0.5	0.7	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0
C	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0
D	0.2	0.5	0.1		0.0	0.2	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0
E	2.0	0.2	0.0	0.0		0.6	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0
全体	0.6	0.2	0.4	0.3	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

図3:新しい人体通信システムにおける通信誤り検出率と誤り率

#### (4) 医療者端末ならびに現場状況のリモートセンシング／可視化技術の開発

これまでに、初期トリアージ(1次トリアージ)における判定時間短縮を図るため、START法に基づくカテゴリー判定支援機能を電子トリアージタグに実装してきたが、本年度はこれに加え、医療者が必要な傷病者詳細情報(医師所見や傷病者名など)を医療者端末から救命救急支援システムにスムーズに入力するためのインターフェースを備えた医療者端末を開発した(文献10, 13)。これにより医療者の負担軽減や診療情報へのリアルタイムアクセス、および処置記録保持に役立つことを示している。

また、災害現場の状況把握における技術開発も進めている。現場の本部においては現場全体の状況をできるだけ詳細かつリアルタイムに把握することが望ましいため、これまでに救助活動従事者が無線端末を持ち歩き回ることによる災害現場地図の自動把握技術などを開発してきた。本年度ではそれらの無線端末を用いて、より広域の災害現場情報(現場撮影画像等)を協調的に収集するための情報収集技術を開発した(文献6, 7, 18)。この方法では救助活動従事者がどのように手分けして現場の撮影や情報入力などを行えば効率よく現場全体の状況を把握できるかが自律的に決定できる。また、遠隔作業支援における応用事例を通じ、リモート環境での意志決定を支援する技術も合わせて開発している(文献14)。

#### (5) 救命救急医療支援システムの開発と災害訓練の実施

電子トリアージタグ、医療者端末、データ収集基地局、本部サーバなどを統合し、データと人員の一元管理を可能とする救命救急支援システムの開発を前年度に引き続き実施している。様々な症状やバイタルサイン情報を蓄積し危険症状の自動判定に活用する症例データベースの実現に必要な基礎データ収集の研究も引き続き実施している。

これらと関連し、2012年3月3日に順天堂大学医学部附属浦安病院にて院内災害訓練を実施した。首都直下地震の発生を想定し、発災から初期対応、傷病者の収容、対策本部の立ち上げ、指揮命令系統の確立、多数傷病者の受け入れといった一連のプロセスを浦安市消防と合同で実施し、大災害時の院内トリアージ演習をあわせて実施している。

#### (6) 救命救急医療支援システムのシミュレーション技術

救命救急医療支援システムの Protokol やシステム開発のためにはシミュレーションによる事前評価が欠かせないため、シミュレーションに必要な関連開発技術を継続して実施している。本年度は、医療者や傷病者の移動や密度分布の表現のためのモビリティモデリング手法を開発し、任意の傷病者分布を再現するシミュレーション用行動モデルを自動生成する技術を開発した(文献5, 12)。また多岐にわたる環境やパラメータの組み合わせにより増大するシミュレーション試行回数を削減しシミュレーションの効率化を図るための試験シナリオ生成技術も合わせて開発している(文献4)。さらに、電子トリアージタグの導入効果を論理シミュレーションするシステムを平成21年度より開発してきたが、本年度はこれを用いて、医療従事者10名を対象に電子トリアージタグの有効性評価を行った(図4)。その結果、電子トリアージタグを導入することにより約20%の救命率向上が達成できることを確認した(文献3)。

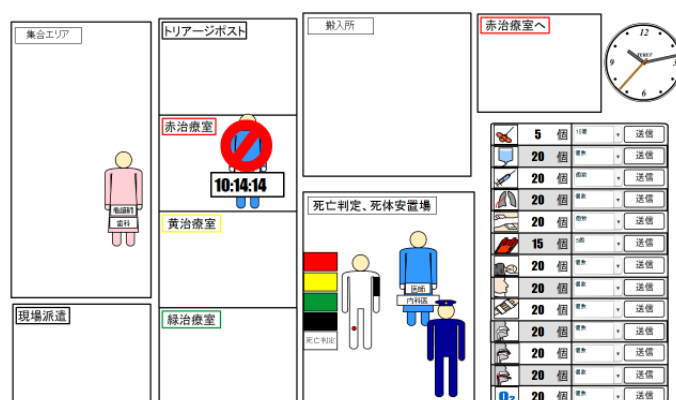


図4：電子トリアージシステムシミュレータ

### §3. 成果発表等

#### (3-1) 原著論文発表

- 論文詳細情報

1. 山田純弥, 澤村啓太, 竹中友哉, 峰野博史, 水野忠則, “電子トリアージシステムにおけるモバイルノード利用型 RSSI 位置推定方式”, 情報処理学会論文誌, Vo.52, No.5, pp.1871-1881, 2011年5月 (DOI無し)
2. Keishi Sakanushi, Takuji Hieda, Yoshinori Takeuchi, and Masaharu Imai, "Electronic Triage Tag for Monitoring Casualties in the Disaster Scene," Proceedings of the 26th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications, pp. 570-573, Korea, Jun. 2011 (DOI無し)
3. 野上 大樹, 内山 彰, 中田 康城, 東野 輝夫, “多人数参加型シミュレータによる電子トリアージシステムの有効性検討”, 日本集団災害医学会誌, Vol.16, No.1, pp.8-18, 2011年6月 (DOI無し)  
災害医療支援システムのシミュレーション技術を開発し, 医療従事者を対象とした実験により電子トリアージシステム導入による救命率向上効果を示している. 災害医療に携わる多くの医師が購読する代表的学術誌への掲載であり, 有効性をアピールする重要な成果である.
4. Akihito Hiromori, Hirozumi Yamaguchi and Teruo Higashino, “A Comprehensive Test Strategy for Network Protocols in Diverse Environment”, Proceedings of the 2011 IEEE 19th Annual International Symposium on Modelling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (IEEE MASCOTS2011), pp.188-196, Singapore, Jul. 2011 (DOI:10.1109/MASCOTS.2011.69)
5. Eijiro Ueno, Akihito Hiromori, Hirozumi Yamaguchi and Teruo Higashino, "A Simple Mobility Model Realizing Designated Node Distributions and Natural Node Movement", Proceedings of the 2011 IEEE Eighth International Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Systems (IEEE MASS2011), pp.302-311, Valencia, Spain, Oct. 2011 (DOI:10.1109/MASS.2011.37)
6. Asaad Ahmed, Keiichi Yasumoto, Yukiko Yamauchi and Minoru Ito, “Distance and Time Based Node Selection for Probabilistic Coverage in People-Centric Sensing”, Proceedings of the IEEE SECON 2011, pp. 134-142, Salt Lake City, Jun. 2011 (DOI:10.1109/SAHCN.2011.5984884)
7. Ahmed, A., Yasumoto, K., Yamauchi, Y. and Ito, M., “Probabilistic Coverage Methods in People-Centric Sensing, Journal of Information Processing”, Vol. 52, No. 10, pp. 2902-2919, Oct. 2011 (DOI:10.2197/ipsjip.19.473)
8. Keishi Sakanushi, Takuji Hieda, Taichiro Shiraishi, Yasumasa Ode, Yoshinori Takeuchi, Masaharu Imai, Teruo Higashino, and Hiroshi Tanaka, "Electronic

- Triage System: Casualties Monitoring System in the Disaster Scene," Proceedings of 2011 International Conference on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing (3PGCIC 2011), pp. 317-322, Barcelona, Oct. 2011 (DOI:10.1109/3PGCIC.2011.58)
9. Takuya Saito, Hiroki Tamura, Yuto Toguchi and Hiroshi Shigeno, "Examination of Data Transmission Adapting to Density of Sensor in Triage Network," Sixth International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA 2011), pp.105-111, 26-28 Oct. 2011 (DOI:10.1109/BWCCA.2011.20)
  10. Yuki TAKAHASHI, Hiroaki KOJIMA and Ken-ichi OKADA, "Injured Person Information Management during Second Triage", Proceedings of the 24th annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '11), pp.97-105, Oct. 2011 (DOI:10.1145/2047196.2047208)
  11. Anuj Bajracharya, Akira Uchiyama, Akihito Hiromori, Hirozumi Yamaguchi and Teruo Higashino, "Implementation of a Data Collection Mechanism in Electronic Triage System using Wireless Sensor Devices", Proceedings of the 6th IEEE International Workshop on Practical Issues in Building Sensor Network Applications (SenseApp2011), pp. 986-989, Oct. 2011 (DOI:10.1109/LCN.2011.6115582)
  12. 上野 瑛次郎, 廣森 聡仁, 山口 弘純, 東野 輝夫, "任意のノード密度分布を実現可能な Waypoint モビリティモデルの提案", 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.1, pp.232-242, 2012年1月 (DOI 無し)
  13. 小嶋洋明, 高橋祐樹, 岡田謙一, "START 法を用いたトリアージ作業支援のための情報提示システムの提案", 情報処理学会論文誌, Vol. 53, No. 1, pp.450-459, 2012年1月 (DOI 無し)
  14. 亀井 銀河, 吉川 誠, 岡田 謙一, "仮想鏡を利用した遠隔 MR 作業支援", 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.1, pp.22-29, 2012年1月 (DOI 無し)
  15. 田村 寛樹, 小林 ひかる, 戸口 裕人, 重野 寛, "トリアージネットワークにおけるロバストな経路探索手法," 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.1, pp.298-307, 2012年1月 (DOI 無し)
  16. Toguchi Yuto and Hiroshi Shigeno, "CDS-Based Routing Scheme Considering Node Properties in Triage Network", Proceedings of the 8th International Workshop on Heterogeneous Wireless Networks (HWISE2012), March 2012 (DOI 未定)
  17. 結城 修, 山田 罔裕, 水野 忠則, 峰野 博史, 西垣 正勝, "ポケット・エージェント・デバイスを用いた電波ブラインド領域での情報通信", 情報処理学会論文誌コンシューマ・デバイス&



システム, Vol.2, No.1, pp.1-9, 2012 年 3 月(DOI 無し)

18. T. Mizumoto, S. Imazu, W. Sun, N. Shibata and K. Yasumoto, “Emergency Medical Support System for Visualizing Locations and Vital Signs of Patients in Mass Casualty Incident”, Proceedings of the 2nd International Workshop on Pervasive Networks for Emergency Management (PerNEM2012), March 2012 (DOI 未定)

### (3-2) 知財出願

① 平成 23 年度特許出願件数(国内 1 件)

② CREST 研究期間累積件数(国内 3 件)