

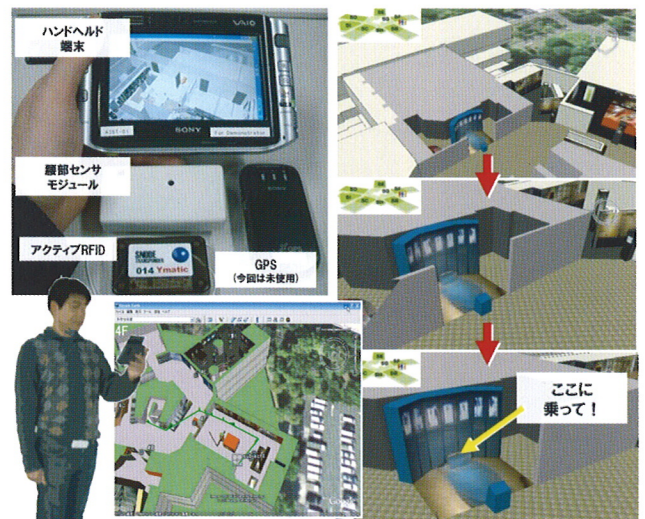


Journal of the Japanese Society for Artificial Intelligence

# 人工知能学会誌

## Vol.23 No.4

### 2008/7



#### 特集：「センシングネットワーク：目的指向編」

センサネットワークによるユビキタスサービス—モノのスマート化と環境の見える化—/体験メディア—体験共有から知識創造を促すユビキタス技術—/出会いの情報技術—イベント空間の高度化—/看護業務のセンシング/アーバンセンシング基盤に向けて/災害時の情報収集に資するユビキタスネットワーク技術の研究/フィールドサーバによるユビキタス環境とセンサネットワーク/遠隔協調作業支援のための位置姿勢計測とインタフェース技術

#### 特集：「法情報学最前線」

法情報学と人工知能/法学教育支援ツール/サイバーコート—ICTを利用した裁判手続—/自然言語処理の応用に基づく法令外国語訳支援/電子社会と法令工学

#### 連載チュートリアル：「多人数インタラクションの分析手法」(6)

会話構造理解のための分析単位—参与構造—/会話構造理解のための分析単位—F陣形—/会話構造理解のための分析単位—実践：漫才対話のマルチモーダル分析—

#### レクチャーシリーズ：「知能コンピューティングとその周辺」(9)

進化的コンピューティング

特集 「センシングネットワーク：目的指向編」

# 災害時の情報収集に資するユビキタスネットワーク技術の研究

## Research on Ubiquitous Network Technology for Information Acquiring in Disaster

羽田 靖史  
Yasushi Hada

情報通信研究機構情報通信セキュリティ研究センター  
Information Security Research Center, National Institute of Information and Communications Technology (NICT).  
had@nict.go.jp, <http://bosai.nict.go.jp>

滝澤 修  
Osamu Takizawa

(同上)  
taki@nict.go.jp, <http://takizawa.ne.jp>

柴山 明寛  
Akihiro Shibayama

(同上)  
shibayama@nict.go.jp, <http://bosai.nict.go.jp>

行田 弘一  
Koichi Gyoda

芝浦工業大学工学部  
School of Engineering, Shibaura Institute of Technology.  
gyoda@shibaura-it.ac.jp, <http://www.ce.shibaura-it.ac.jp/>

鈴木 剛  
Tsuyoshi Suzuki

東京電機大学工学部  
School of Engineering, Tokyo Denki University.  
tszk@ieee.org, <http://www.nrl.c.dendai.ac.jp>

川端 邦明  
Kuniaki Kawabata

理化学研究所川端知能システム研究ユニット  
Kawabata Intelligent System Research Unit, RIKEN.  
kuniakik@riken.jp, <http://is-ru.riken.jp>

嘉悦 早人  
Hayato Kaetsu

(同上)  
kaetsu@riken.jp, <http://is-ru.riken.jp>

浅間 一  
Hajime Asama

東京大学人工物工学研究センター  
Research info Artifacts, Center for Engineering, The University of Tokyo.  
asama@race.u-tokyo.ac.jp, <http://www.race.u-tokyo.ac.jp/~asama>

**Keywords:** ubiquitous network, wireless sensor network, rescue robot, IC tag, RF-ID, simulation.

### 1. はじめに

地震、水害、テロ災害による被災地では迅速な状況の把握が重要であり、社会インフラが断絶された環境において迅速かつ同時に情報を収集、伝達する一助として、ユビキタスセンサネットワークの応用が考えられる。本稿では我々のユビキタスネットワーク技術を用いた防災への応用研究、特に無線センサネットワーク、ICタグ、ロボット遠隔制御などの取組みについて述べる。

### 2. 無線センサネットワークを用いた情報収集システム

無線センサネットワーク (Wireless Sensor Network, 以下 WSN と略記) は、センシング、無線通信、計算処理の各機能と電源などを有する小型無線センサ端末 (センサノード) を多数用いてネットワークを形成し、各センサノードが取得したデータを相互に通信し利用することが可能なネットワークシステムである。多数のセンサノードを分散配置してだけで、各センサノードが順次接続していくアドホックネットワークを構成でき、有線ネットワークと比べネットワークの拡張が非常に簡単に行える。WSN では、各センサノードが取得したセン

サ情報を管理端末で収集処理することで、さまざまなサービスを提供できる。膨大なセンサやアクチュエータを簡単に接続する仕組みとして期待される WSN 技術は、広域環境、工場機器、建造物などのモニタリング、被災地での災害救助支援など多方面への利用が期待されている。

また、センサノードの一部として移動ロボットや携帯端末などの移動体を用いることで、固定ノードのみのネットワークに対してネットワークの構築やセンシング手段の多様性が増す。

### 2.1 レスキュー用知的センサノードを用いた要救助者の情報収集

音声録音等のセンシング能力をもつレスキュー用知的センサノード「レスキュー・コミュニケータ」を各家庭にあらかじめ事前に設置、または震災後にばら撒くことで、被災環境自体に知能をもたせ、至るところで(ユビキタス環境で)並列的に瓦礫内の要救助者の有無および所在の確定を行い、飛行船や移動ロボットを用いてその情報を迅速に回収するシステムの研究開発を行っている [Asama 07, Hada 06]。このシステムにより広域において詳細な要救助者情報を迅速に収集することが可能となる。システムの概要を図 1 に示す。

レスキュー・コミュニケータは平常時においては、内蔵する有線 LAN、無線 LAN、モデムなどを利用して一般家庭におけるブロードバンドルータとして動作する。

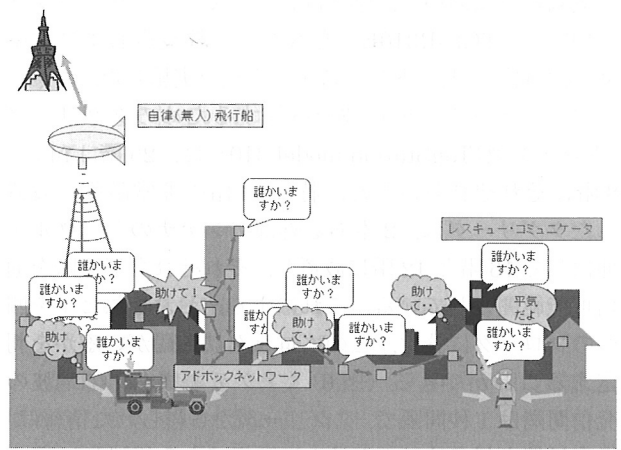


図 1 センサノードと飛行体を用いた要救助者探索システムの概要

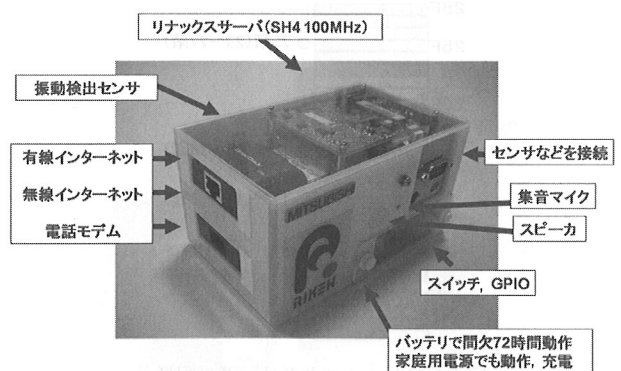


図 2 知的センサノード「レスキュー・コミュニケータ」

また平常時の応用としては、音声入出力やセンサ機能を利用したお年寄りやペットの見守り、漏水・漏電の監視、家電などの統括制御などへの利用が考えられる。震災時には対策センタなどから送出された警報の受信、もしくは内蔵センサ信号をもとに動作モードの切り換えを行い、対策センタからの震災情報を音声などで被災者に伝える、また逆にセンサで記録した被災地内の情報(音声、人感センサ、火災センサなど)を対策センタに送出することで、震災の被災情報の収集・配信を行う。また、インターネットや携帯電話網などの平常時の社会インフラネットワークが寸断したとしても、内蔵する無線 LAN を用いて近傍のレスキュー・コミュニケータ間でアドホックネットワークを形成し、震災時においてもロバストな WSN を構成することができる(図 2)。

レスキュー・コミュニケータと自律飛行船を合わせた統合システムとして、瓦礫内に埋れた要救助者の音声を自律飛行船が収集するシステムを実現した。このシステムでは、瓦礫内のレスキュー・コミュニケータは音声を収集し上空の飛行船に情報提供を行う。飛行船は瓦礫内を直接観測することはできないが、瓦礫形状によらず空中移動が可能である。このようにシステムの移動能力(モビリティ)と探索能力(センサ)を分けることによって広域にわたって迅速で詳細な要救助者探索が実現可能となる。

またこれまでに、著者らの開発した小型飛行船 [Fukushima 07, Hada 05] だけでなく、京都大学中西らが開発した自律ヘリコプタ [Nakanishi 03], JAXA 中館らが開発した 14 m 級自律飛行船、電気通信大学松野らが開発した移動ロボット、神戸大学大須賀らが開発した車両、沖縄工業高等専門学校武村らが開発した気球 [Takemura 06] などを用いてレスキュー・コミュニケータからの情報を収集する実験を行っており、開発したシステムは非常に汎用性が高いことを実証した(図 3)。

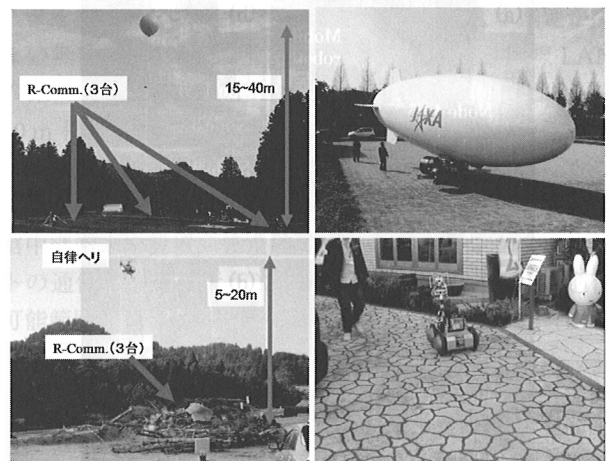


図 3 センサノードと連携する移動ロボット群 (気球, 自律飛行船, 自律ヘリ, クローラロボット)

## 2.2 移動ロボットによるセンサネットワークの構築と管理

レスキュー・コミュニケーターはあらかじめ平常時に各家屋内に設置され災害時に動作するのに対し、災害発生後にセンサノードを設置し WSN を構築する研究も行っている。この方式ではあらかじめセンサノードを設置する必要はないが、設置には時間がかかる。センサノードの設置方法としては上空からの投下、ロボットが移動しての設置などの方法がある。設置位置の検討としては、ノードのセンシング範囲、通信距離などの要因を検討する必要があるが、これらのパラメータは災害地の環境やセンシング対象によっても大きく変わるため、事前に定めることは難しい。我々は移動ロボットによって、ノード間の無線通信の電界強度情報をもとに、新しくノードを設置していく方法について検討している (図 4)。ロボットが移動中に各地点でセンサノードの発する電波の電界強度を複数回測定し、通信可能であることを確認してセンサノード間の通信を確保しながらセンサノードを配置する。これにより、環境の影響による電界強度の変動に適応した WSN の展開が可能となる。さらに、WSN 展開後にはセンサノードのバッテリー残量低下や故障によって、WSN の機能維持をできなくなることが考えられる。そこで、センサノードを配置した際に記録した位置情報 (例えば、移動ロボットのオドメトリ情報) を用いて要修復箇所の特定制を行い、センサノードから信号が受信できる場合は、電界強度を用いて対象ノードの位置特

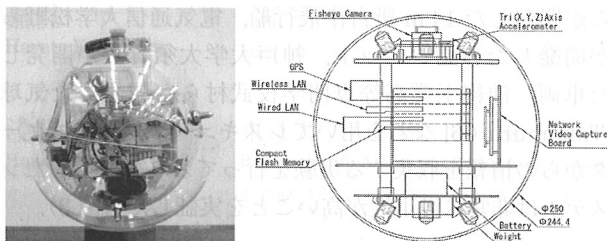


図 4 受動的倒立機構をもつ全方向カメラノード

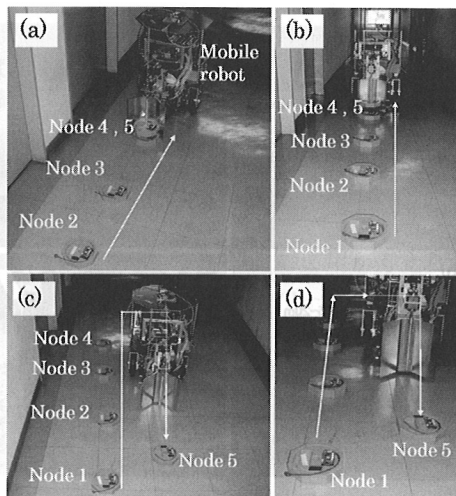


図 5 電界強度をもとにしたセンサネットワークの構築

定の精度を上げる。そして、移動ロボットが対象位置へ移動し、代替センサノードを配置して WSN の機能維持を図る (図 5) [Sato 07, Sugizaki 08]。

## 3. 無線 IC タグを用いた被災地での情報管理

大規模災害時では災害対策本部等に対して、非常電話、FAX、伝聞、報道などさまざまな媒体を通じて膨大な情報が伝達され、これをいかに整理・分析し減災に役立てるかが大きな問題となっている。

無線 IC タグ (RF-ID) は一般にセンシング機能をもたず ID 番号のみをリーダライタへ応答する無線機器であり、物品や電子マネーの管理手段として急速に普及している。この無線 IC タグを災害時の情報の管理、特に被災者の安否確認に役立てる取組みについて説明する。

### 3.1 アクティブタグを用いた避難状況把握

ワールドトレードセンタでのテロにおいては、多くの人間が個々の判断で避難階段に殺到したため、避難ができず被災するという事例が起きた。そこで、高層ビルにおける避難誘導の支援、および安否確認の簡便化を目的とした、アクティブタグ (電池内蔵型 RF-ID) による在館・避難状況のリアルタイム把握実験を実施した。

#### §1 実験内容

2007 年 12 月に、工学院大学 (29 階建てビル) での防災訓練時において、学生証に見立てたアクティブタグ (九州テン TGS-R310E) をもたせ、教職員および学生 33 人の避難状況をトレースする実験を実施した。

アクティブタグの電波を感知するためのタグリーダ (九州テン製: TagStation model 310) は、25 階、14 階、8 階にそれぞれ設置した。特に 14 階の非常階段に設置したタグリーダは、2 本ある外部アンテナのケーブルを伸ばして 16 階と 12 階に設置し、それぞれ上下 2 階を通信可能範囲としている。これにより、おおむねビルを四つのブロックに分け、どのブロックに人間がいるかを判定することができる (図 6)。アクティブタグの電波の発信間隔は 1 秒間隔で、タグリーダから得られた情報は、災害対策本部でリアルタイムに監視できる体制とした。

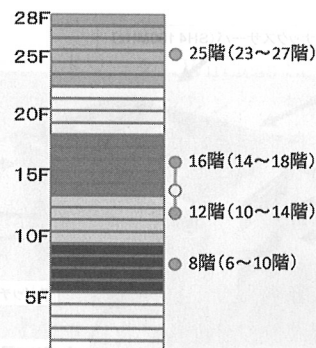


図 6 アクティブタグリーダの配置と検出カバーエリア

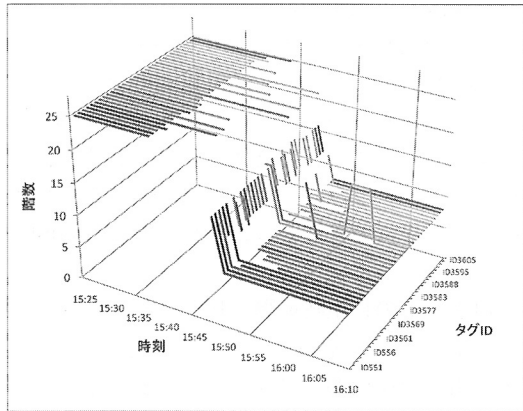


図7 被験者33人の避難状況のトレース結果

実験の被験者33人の避難状況のトレース結果を図7に示す。結果より避難開始時刻である15時30分には25階にいた大半の被験者が15時51分頃までに8階に移動しているものの、一部の被災者は遅れて15時57分頃までに全員が避難しているのがわかる。このことより、少ないタグリーダであっても、適切にアンテナを配置することにより避難者の行動をリアルタイムに把握することが可能であることを確認した。

### 3.2 RF-IDを用いた被災地への情報付加

通信インフラが深刻なダメージを受けるような大災害時には、サーバ集中型の情報収集や共有は困難であり、特に復興の初期段階においては貼り紙や伝言板のような偏在型の情報共有がより効果的である。我々は平常時から家屋の塀や電柱などの道端に非接触型のRF-IDが大量に埋め込まれているユビキタス社会を想定し、その無線タグに被災者の安否情報や家屋の応急危険度判定結果などの災害救援に資する情報を蓄積し、現地での救援活動における情報源とする研究を行っている。

#### §1 RF-IDのハイブリッド化

パッシブタグ (Intermec製 Intellitag) とアクティブタグ (RF CODE製 Spider V) を並置した「ハイブリッドRF-ID」を製作し、タグの存在を約10m程度離れた場所からでも検知できるようにした。タグリーダライトをもつ調査員は、まずアクティブタグを受信して存在を検知し、パッシブタグにアンテナを近づけて読み書きすることでタグの情報を読み書きする (図8)。



図8 ハイブリッドRF-IDと利用イメージ

#### §2 倒壊家屋等からの被災者救出情報の共有およびトリアージ

東京消防庁第8消防方面本部立川訓練場 (2006年4月23日), 兵庫県立広域防災センター (同10月4日), 川崎駅地下街アゼリア (同11月5日), および国際レスキューシステム研究機構倒壊家屋実験施設 (同11月23日) で行われた実験においてハイブリッドRF-IDを投入した (図9)。各実験は、倒壊家屋などに閉じ込められた被災者をレスキューロボットによって探索し救出するシナリオベースの想定訓練であり、その中でハイブリッドRF-IDを、救出後に被災者に付けるトリアージタグ (治療・搬送の優先順位づけのタグ) と、被災家屋に付ける探索・救出済タグの二つの目的に適用した。その結果、実際の災害現場に近い状況で本職の消防隊員による救助作業の流れの中で、無線タグの現場投入が救出作業に支障をきたさないことを確認できた。 [Takizawa 07]

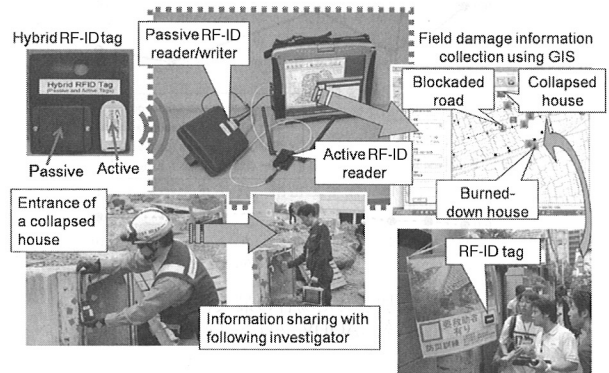


図9 倒壊家屋実験施設における想定訓練

### 4. 遠隔操縦ロボットのためのアドホックネットワーク

災害時に危険な場所、具体的には震災時テロ災害、原子力災害時の建物や地下街への進入と調査を目的としたレスキューロボットの研究が盛んである。これらの災害対応ロボットは遠隔から操縦されカメラなどのセンサーデータを操作卓へ送信する。このため帯域が広く遅延が少ない無線LANが用いられることが多いが、無線LANの距離は802.11g使用時の実行距離が屋内では30~50m程度と短く、長距離のナビゲーションを行うことは困難である。我々はこの問題をマルチホップネットワークを用いて解決する試みを行っている。ロボットが通信中継端末を設置、またはロボット自身がほかのロボットの通信の中継を行うことによって、無線LANの通信可能範囲を延伸することができる。

#### 4.1 ロボット群のシミュレーション

遠隔ロボット間通信として想定したアドホックネットワークについて、その特性などを把握するためにシナリオおよびネットワークモデルの作成を行い、このモデル

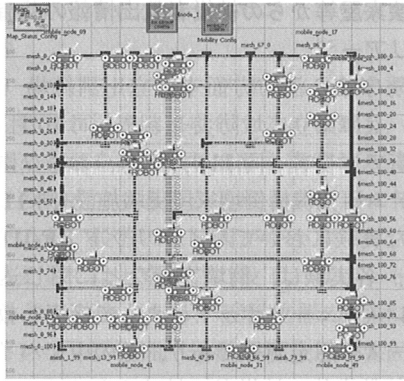


図10 移動ロボットの通信シミュレーション

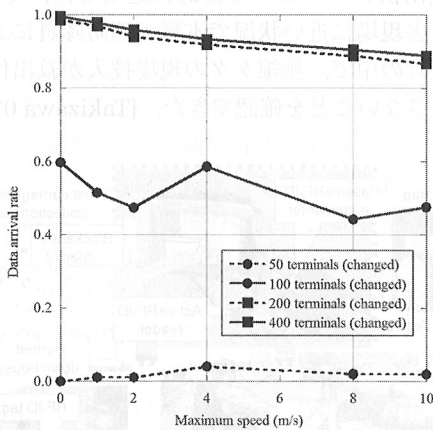


図11 端末数を増加させた場合の最大移動速度に対するデータ配信率 (AODV プロトコル)

におけるロボットなど端末の通信速度, 移動速度, 端末数などのパラメータを変化させた場合の通信品質の変化を, 代表的なアドホックネットワークプロトコルである AODV および OLSR を用いて評価を行った. 建物の影響を考慮した Real City モデルにおいて, 台数が 50 台(うち 2 台が市街地中央と端にそれぞれ固定され, 残る 48 台が移動)の場合のシミュレーションを行い, 固定端末間のデータ配信率について比較を行った(図 10). 建物の影響を考慮した場合としない場合を比較すると, 建物の影響を考慮した場合にはデータ配信率は著しく低下しており, 上述の固定端末間の通信に着目した場合は建物等の影響を考慮することにより AODV, OLSR ともほとんどデータが配信されないことがわかった.

これに対し, データ配信率を向上させるための方法として, 中継に参与する移動端末台数を上記の 50 台の場合から 100 台, 200 台, 400 台と増加させた場合についてシミュレーションを行った(図 11). AODV を用いた場合, 移動端末数を増加させるとデータ配信率は増加するが, 200 台の場合と 400 台の場合の結果はほとんど変わらず, 本モデルにおけるプロトコルの性能限界が明らかとなった. また, AODV におけるプロトコル属性 Active Route Timeout を小さくした結果についても同様に端末数を増加させた場合についてシミュレーションを

行った結果, 端末数が 200 台以上の場合について, プロトコル属性を調整することにより, 端末の最大移動速度が 10 m/s の場合においても 85% 以上のデータ配信率が得られることがわかった. この結果を移動ロボットや車両, 携帯電話などの端末に応用することにより, たとえ基地局などのインフラがダウンした場合においても端末相互の通信が提供できると考えられる [Gyoda 08].

#### 4.2 ロボットの長距離遠隔ナビゲーション

シミュレーション結果をもとに, 移動ロボットと中継端末を用いた屋内および屋外移動の長距離ナビゲーション実験を行った. ロボット自身が無線 LAN の通信中継端末を設置し, これをもとにマルチホップ(バケツリレー式)無線通信を行うことで通信エリアを増やし, さらに走行距離を延伸することができる. 実装した中継端末は(株)シンクチューブ製 RokkoMeshRouter をもとに開発をベースとしている. この機器は物理層に IEEE802.11g をもち, またソフトウェアとして AODV 互換プロトコルを実装している. 屋外環境での実験の結果, 東北大学工学部のビル間に 11 台の中継端末を設置し, 約 230 m の長距離遠隔操縦ナビゲーションを実現した. ただしこのとき, 中継端末は人間が十分に位置を吟味し設置しており, ロボットは自動で中継端末を設置していない. またホップ数が増えるにつれ通信の遅延が大きくなることがわかった. ただし, 遅延は 5 ホップ時で約 26 msec であり, 遠隔操縦用カメラのフレームレート(33 msec)よりも小さいことから, 中継端末の位置を適切に配置すれば, マルチホップを用いた移動ロボットの遠隔操縦は十分に実用可能であるといえる(図 12).

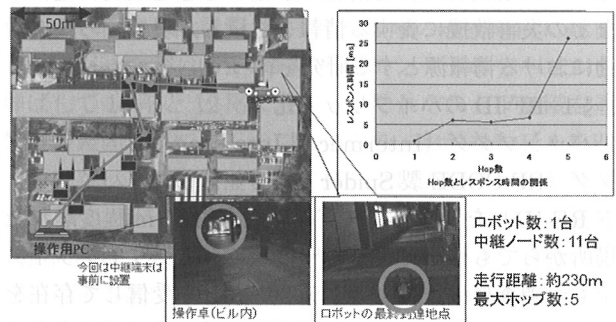


図12 屋外環境での長距離ナビゲーション結果

### 5. おわりに

本稿では, ユビキタスネットワーク技術を防災・減災に資するための我々の取組みについて述べた. 災害時には平常時よりも車両などによる物理的な移動が困難となるため, WSN, 無線 IC タグ, アドホックネットワークなどのユビキタスネットワーク技術を移動機器と相補的に活用することにより, より迅速かつ広域的な情報収集を行うことができると考えられる.

## ◇ 参考文献 ◇

- [Asama 07] Asama, H., et al.: Information infrastructure for rescue systems, *Workshop on Rescue Robotics - DDT Project on Urban Search and Rescue, 2007 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 45-56 (2007)
- [Fukushima 07] Fukushima, H., et al.: State-predictive control of an autonomous blimp in the presence of time delay and disturbance, *IEEE Int. Conf. on Control Applications*, ISBN978-1-4244-0441-4, pp. 188-193 (2007)
- [Hada 05] Hada, Y. et al.: Autonomous blimp system for aerial infrastructure, *Proc. 2nd Int. Conf. on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAmI)*, pp. 162-165 (2005)
- [Hada 06] 羽田靖史ほか: 機能分散によるレスキュー用ユビキタスセンサネットワークの構築, 第16回インテリジェント・システム・シンポジウム, 2C3-3 (2006)
- [Gyoda 08] Gyoda, K., et al.: Analysis of ad hoc network performance in emergency communication models, *Int. Workshop on Disaster and Emergency Information Network Systems*, ISBN978-0-7695-3096-3 (2008)
- [Nakanishi 03] Nakanishi, H., et al.: Autonomous flight control system for intelligent aero-robot for disaster prevention, *J. Robotics and Mechatronics*, Vol. 15, No. 5, pp. 489-497 (2003)
- [Sato 07] 佐藤秀夫ほか: 2重倒立機構を用いた被災地情報収集のためのセンサノードの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2007予稿集, 2PM-M07 (2007)
- [Sugizaki 08] 杉崎隆二ほか: 移動ロボットと無線センサネットワークによる環境情報収集, 第13回ロボティクスシンポジウム, 1B2 (2008)
- [Takemura 06] 武村史朗ほか: 災害時におけるケーブル駆動型バルーンロボットとレスキュー用知的データキャリアの連携による情報収集, 第49回自動制御連合講演会, SA1-1-5 (2006)
- [Takizawa 07] Takizawa, O. et al.: Hybrid radio frequency identification system for use in disaster relief as positioning source and emergency message boards, *Mobile Response, Lecture Notes in Computer Science*, No.4458, ISBN 978-3-540-75667-5, pp. 85-94, Springer-Verlag (2007)

2008年6月6日 受理

## — 著者紹介 —



羽田 靖史

2003年筑波大学大学院工学研究科知能機能工学専攻博士課程修了, 博士(工学)。2003年理化学研究所特定協力研究員。2007年情報通信研究機構専攻研究員, 現在に至る。東京大学人工物工学研究センター協力研究員, 独立行政法人理化学研究所客員研究員などを兼務。災害対応ロボット, 自律ロボット, 環境知能化, 軽航空機, サービス工学などに関する研究に従事。2006年第16回インテリジェント・システム・シンポジウムベストプレゼンテーション賞受賞, 2007年第2回競基弘技術業績賞受賞。日本ロボット学会, 日本機械学会などの各会員。



滝澤 修

1987年京都大学大学院工学研究科修士課程修了。同年, 郵政省電波研究所(現情報通信研究機構)入所。駄洒落, 皮肉など日本語修辞表現の工学的解析の研究により1997年大阪大学博士(工学)。郵政省通信政策局課長補佐を経て, 2000年から, RF-IDなどのユビキタス技術を用いた非常時防災通信の研究開発に従事。現在, 情報通信セキュリティ研究センター防災・減災基盤技術グループリーダー。1991年電子情報通信学会学術奨励賞, 計測自動制御学会SI2006優秀講演賞等受賞。電子情報通信学会, 日本災害情報学会など各会員。防災士。



柴山 明寛

2006年3月工学院大学大学院工学研究科建築学専攻修了, 博士(工学)。2006年4月東北大学大学院工学研究科災害制御研究センター教育支援者。2007年4月情報通信研究機構情報通信セキュリティ研究センター防災・減災基盤技術グループ専攻研究員。地震防災, 地震工学, 建築防災に関する研究に従事。日本建築学会, 日本地震工学学会, 地域安全学会などの各会員。



行田 弘一

1992年上智大学大学院理工学研究科電気・電子工学専攻(博士後期課程)修了, 博士(工学)。1991年郵政省通信総合研究所(現情報通信研究機構)入所。ATR環境適応通信研究所出向を経て, 2008年より芝浦工業大学工学部通信工学科准教授, 現在に至る情報通信研究機構情報通信セキュリティ研究センター防災・減災基盤技術グループ主任研究員。アドホックネットワークの研究開発に従事。IEEE, 電子情報通信学会各会員。



鈴木 剛

1994年東洋大学大学院工学研究科機械工学専攻博士前期課程修了。1998年埼玉大学大学院理工学研究科生産科学専攻博士後期課程修了, 博士(工学)。同年, 理化学研究所工学基盤研究部協力研究員。2000年同基礎科学特別研究員を経て, 2002年より東京電機大学工学部情報通信工学科助教授。現, 准教授。ロボットセンサネットワークシステム, 複数移動ロボットの協調, 群移動ロボット遠隔操作の研究開発に従事。IEEE, 日本ロボット学会, 精密工学会, 日本機械学会などの各会員。



川端 邦明

1997年理化学研究所基礎科学特別研究員。2000年理化学研究所工学基盤研究部基盤技術開発室研究員。2002年理化学研究所分散適応ロボティクス研究ユニット研究員, 同ユニットリーダー, 同先端技術開発支援センターアドバンス・エンジニアリングチーム専任研究員を経て, 2007年9月より知能システム研究ユニット・ユニットリーダー, 現在に至る。博士(工学)。移動ロボット, 環境知能化デバイス, 移動知, 結晶自動観察装置知能化等に関する研究に従事。2002年計測自動制御学会システム・情報部門奨励賞受賞。2005年日本ロボット学会論文賞およびファナックFA財団論文賞受賞。IEEE, 日本ロボット学会, 日本機械学会, 計測自動制御学会, 電子情報通信学会などの各会員。



嘉悦 早人

1971年東京理科大学中退, 同年より理化学研究所勤務。現在, 前任技師として自律分散型ロボットシステム, 環境知能化デバイスなどの研究開発に従事。日本ロボット学会, 日本機械学会などの各会員。



浅間 一 (正会員)

1984年3月東京大学大学院工学系研究科修士課程修了。1986年9月理化学研究所化学工学研究室研究員補。同研究所研究員, 副主任研究員を経て, 2002年11月東京大学人工物工学研究センター教授。2001年日本機械学会ロボメカ部門学術業績賞などを受賞。2005年より科研費特定領域「移動知」の領域代表。2007年よりIEEE Robotics and Automation Society AdCom member, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門部門長。日本機械学会フェロー, 工学博士(東京大学)。