

## 二重球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

鈴木 剛† 佐藤 秀夫† 川端 邦明‡ 嘉悦 早人‡ 焼山 康礼† 戸辺 義人†

† 東京電機大学 ‡ 理化学研究所

あらまし 地震発生直後に、可能な限り被災地の状況を把握することは、極めて重要な作業である。本研究では、災害情報を収集するための球状センサノードと、移動ロボットが球状センサノードを配置するための運搬・配置機構を開発する。センサノードは、内蔵カメラの方角を一律に設定するために、二重球機構を装備する。運搬・配置機構は、ソレノイド作動器によって駆動されるデバイスを用いて、センサノードを地面に配置することが可能である。本論文では、センサノードと運搬・配置機構を解説し、プロトタイプを用いて機能の評価を行う。

キーワード センサノード, ロボットセンサネットワーク, 情報収集,  
運搬・配置機構, 救助活動, ソレノイド

### Development of a sensor node with double-spherical mechanism for gathering disaster area information

Tsuyoshi SUZUKI † Hideo SATO † Kuniaki KAWABATA ‡ Hayato KAETSU ‡  
Yasunori YAKIYAMA † Yoshito TOBE †

† Tokyo Denki Univ. ‡ RIKEN

**Abstract:** After the earthquake, it is very important to grasp the situation of the disaster area as soon as possible. This research aims to develop a novel sensor node for gathering disaster information and a mechanism for a mobile robot carrying and setting the globular sensor node. Developed sensor node equips a double-spherical mechanism for setting the direction of build-in camera uniformly. Developed carrying and setting mechanism is possible to set the sensor node on the ground using a device driven by solenoid actuator. In this paper, developed sensor node and 'carrying and setting' mechanism are introduced and their function evaluation are experimented using prototype ones.

**Key Words:** Sensor Node, Robot Sensor Network, Gathering Information,  
Carrying and Setting Mechanism, Rescue Effort, Solenoid

#### 1. はじめに

我が国は地震大国であり、防災に対する国民の関心が極めて高い。近年では、発生予測困難な災害への対策として、防災に加え、被災後の被害を軽減する減災が注目されている。減災のためには被災後の被害状況を可能な限り迅速かつ正確に把握する必要がある。文部科学省の委託事業「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」における「レスキューロボット等次世代防災基盤技術の開発」[1]では、レスキューロボットや飛行体、センサノードなどを連携させた被災地情報収集技術が開発されている。中でもセンサノードについては、事前に天井や街灯などに設置、もしくは災害後に人間が設置することを想定した研究が多い。しかし、事前設置型のセンサノードは災害後の正確な位置姿勢が不明となる。また人手で設置するセンサノードは二次災害などによる危険が危惧される。

そこで、本研究では、図1に示すような、複数の移動体(ロボットなど)により被災地に自律かつ適応的にセンサネットワークを展開し、センシングとネットワークの機能を維持しながら情報

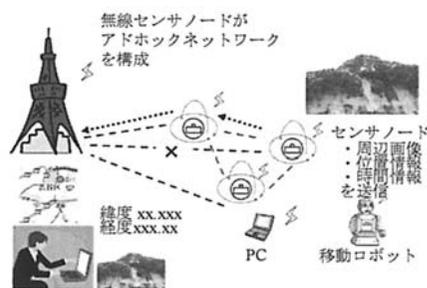


図1 被災地情報収集システムの概要

を収集するシステムの構築を目標としている。そのためにはロボットにはセンサノードを配置する機構が必要である。本稿では、

- 1) 被災地でのセンシングを考慮した新規なセンサノードの設計・試作
- 2) 開発したセンサノードを運搬・配置する機構について検討・試作

を行った。また、試作したセンサノードと運搬・配置機構の、性能評価実験を行った。

## 2. 被災地情報収集センサノードと運搬・配置機構の概要

本節では、設計・試作を行った被災地情報収集センサノードと運搬・配置機構について説明する。

### 2.1. 被災地情報収集センサノードの設計・試作

被災地では、家屋や施設の倒壊などによる瓦礫の散乱、また、ライフラインやインフラの断絶が予想される。そこで、本研究ではインフラに依存せず、容易な設置が可能で、設置後センサネットワークを構築し、位置情報を含んだデータの発信が可能なデバイスを開発する。そのため、被災地に設置可能なセンサノードには、

- 1) 自立駆動のための電源装備
- 2) 無線通信
- 3) アドホックネットワーク構築
- 4) ノード自身による情報処理
- 5) 自己位置情報の取得
- 6) 周囲の映像の取得
- 7) 設置状態によらずセンサの指向性を保持する姿勢制御

の機能が必要となると考えられる。これまでに探査ボール[2]や EYE BALL[3]など、被災地等で映像を取得し送信するデバイスも研究されている。しかし、上記の機能を全て具備するセンサノードは存在しない。本稿では、これら機能を満たすセンサノードの設計・試作を行った。センサノードには、情報処理機能とセンサデバイスを持たせるために、豊富な I/O を持つ機器を選定し、三菱電機インフォメーションテクノロジ社製組み込み Linux デバイスであるレスキューコミュニケーター (R-Comm.) [4] を採用した。

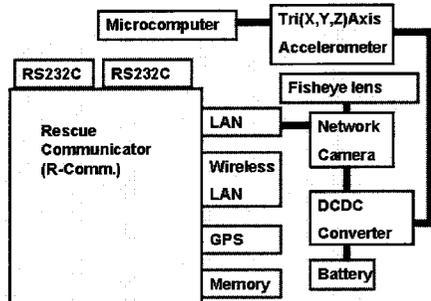


図2 センサノードの構成

センサノードの構成を図2に示す。センサノードの機能として、

- (1) CF メモリ
- (2) 無線 LAN
- (3) 有線 LAN

を搭載した。

CF メモリには、センサノードの駆動に必要な Linux カーネルイメージ、ファイルシステムが格納されている。センサノードは、無線 LAN を用い

て、アドホックネットワークの構築と通信を行う。センシングデバイス部には、

- 1) 魚眼レンズを使用した  
全方位視覚のネットワークカメラ
- 2) 3 軸加速度センサ
- 3) GPS

を取り付けた。

ネットワークカメラは、周囲 360° の画像を取得できるデバイスである。これは、有線 LAN を通して、センサノード本体と接続される。3 軸加速度センサは、ノードの傾斜を測定するために使用される。また、GPS は、位置情報取得のために使用される。これらは全て電源的に自立になるようバッテリー駆動とした。

センサノードは、被災地で使用されるため、救助活動に支障のないよう、容易に移動されることが望ましい。本研究では、センサノードを球状にすることで解決する。開発したセンサノードを図3に示す。本センサノードは、二重球倒立機構を装備する。二重球倒立機構は、二個の透明球(内球と外球)とボールローラからなり、センサノードを格納する。外球は、ボールローラを介して、内球を包む。内球には、中央部にコントローラ、センサ、バッテリーなどが、上部にカメラ、下部にバッテリー等の重量物が、納められている。内球はボールローラによって外球内を自由に回転する。このとき、内球は下部重量物により下方に重心を持つ。そのため、必ずカメラが上方を向くことになる。二重球倒立機構により、アクチュエータ等を用いず、カメラ姿勢を常に鉛直上向きに保持できる。このため、設置環境やノードの向きによらず、同じ姿勢で全方位画像が取得可能となる。

また、アドホックネットワークの構築のために、Linux で開発が進められている AODV プロトコル: AODV-uu[5] を搭載することとした。

図3に、外/内球にアクリル球を用いて試作したノードの外観を示す。

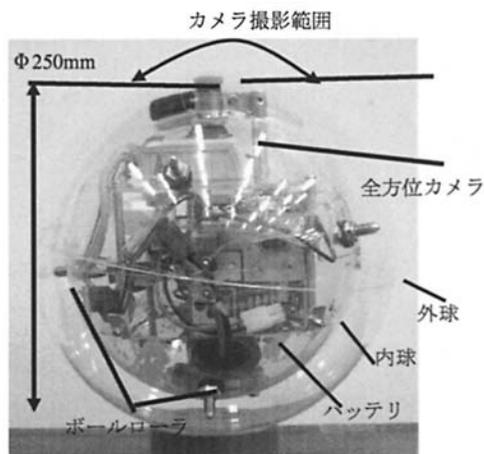


図3 センサノードの外観

## 2.2. 運搬・配置機構

本節では、運搬・配置機構の構成と制御システムについて説明する。

### 2.2.1. 運搬・配置機構の構成

#### 2.2.1.1. 概要

センサノードを運搬・配置する機構を、図4に示す。運搬・配置機構は、断面を湾曲させたポリカーボネイト製のスロープでセンサノードを囲む。スロープ中に、2個のロック機構(詳細は2.2.1.2節)が存在する。ロック機構は、ロボットからの指示により任意のタイミングで上下方向に動かされる。これにより、センサノードは、スロープ内を転がり、地上に配置される。スロープの角度は、仕様に応じて自由に設定できるようになっており、転がり速度を設定することができる。センサノードを支える部分には、高価なモーターを使用せず、安価なDCソレノイドを使用した。

今回、運搬・配置機構は、センサノードの大きさを考慮して計4個のセンサノードを運搬・配置することにし、全方向移動ロボットZEN[6]本体の両側に取り付けた。試作した運搬・配置機構をZENに取り付けた写真を図5に示す。試作した機構の総重量(片側のみ)は、ZENに取り付ける治具を含めて、1.65 [kg]である。

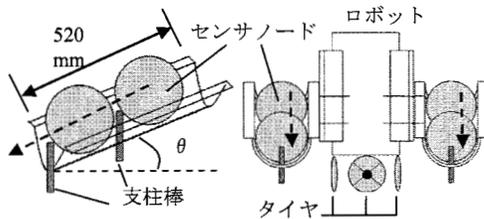


図4 センサノード運搬・配置機構の概要

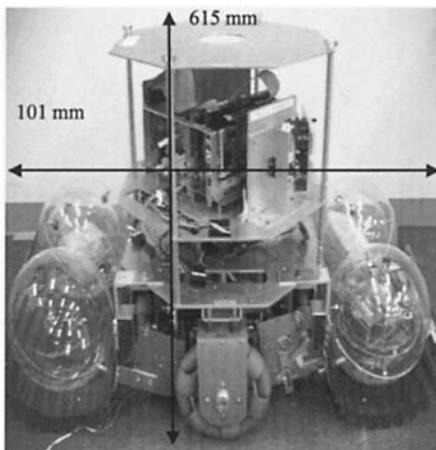


図5 運搬・配置機構を装備したロボット

#### 2.2.1.2. 運搬・配置機構の構成と動作原理

試作した運搬・配置機構は、センサノードを囲むスロープ部分と、センサノードの支えや放出する部分(以後、ロック機構)で構成されている。スロープ部分に関しては、センサノードを囲むように設計し、センサノードを支える箇所の加工を行い、ロック機構部分を組み込んだ。ロック機構部分に使用するDCソレノイド(信明電機株式会社SS-103-501)について簡略に動作原理を説明する。ソレノイドは、コイルと可動鉄芯で構成されている。図6に動作を示す。コイルに電流を流すと磁界が発生し、可動鉄芯が吸引される。コイルの巻き数や可動鉄芯の大きさなどによって吸引力特性が任意に得られる。今回は、吸引力が約1 [kgf]のものを利用した。

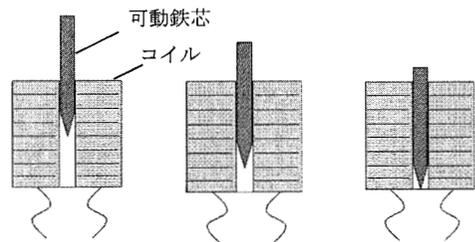


図6 ソレノイドの動作原理

ロック機構は、大きく分けて2つの部分で構成されている。1つ目は、直接的にセンサノードが滑り落ちていかないように支持棒で受け止める部分である。また、2つ目は支持棒がセンサノードを十分に支えられるようにロックする箇所であり、間接的にセンサノードが滑り落ちていかないようにする。前者は、球の直径に対して支持棒の高さを設定するものであり、後者はセンサノードを支える支持棒にアルミ製の板(以後、センサノード支持棒部)をリンクさせて、その板の先端でロックをするものである。今回、試作したロック機構は、機構Aと機構Bの2パターンある。

図7に機構Aを示す。機構Aはソレノイドの可動鉄芯でセンサノード支持棒部にロックをかけ、ロックを外す時はソレノイドに電流を流し、可動鉄芯を吸引させることで、センサノード支持棒部がスライド移動することを可能にする。ロックが外されたセンサノード支持棒部は、センサノードの自重により自動的にスライド移動する。

次のセンサノードを配置可能にするためには、移動後に、

- ① 支持棒、センサノード支持棒部を元の位置に戻す
- ② ソレノイドの可動鉄芯を元の位置に戻しロックをする

ことが必要である。

本研究では、①に対して

圧縮ばねを支持棒とセンサノード支持棒部をリンクさせている箇所付近に用いることで

ばねの反発を利用する。  
 ②に対して  
 ソレノイド内で可動鉄芯の下に圧縮ばねを用いる。  
 ことで解決する。

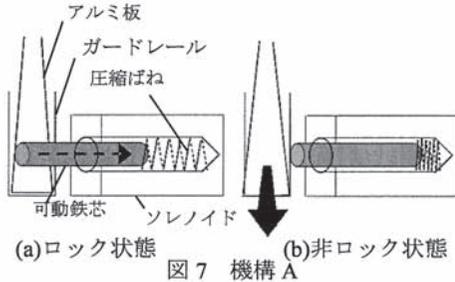


図7 機構A

図8に機構Bを示す。機構Bの機構Aと異なる点は、ロック機構の構成である。機構Aは、可動鉄芯でロックをしていたのに対し、機構Bは加工したアルミ板(以後、ロック板)でロックをする。この加工したロック板は、つり針のような形をしており、図8のようにセンサノード支持棒部にロックをかけたたり、外したりすることが可能である。定位置に戻す方法は、機構Aと同じである。

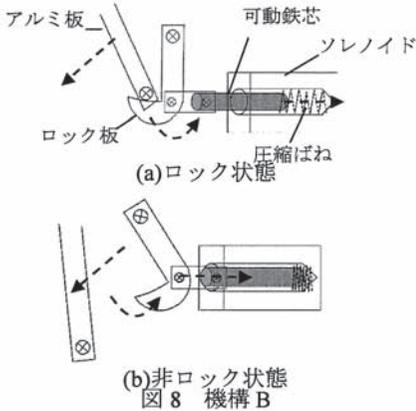


図8 機構B

製作した2種類の機構を図9に示す。

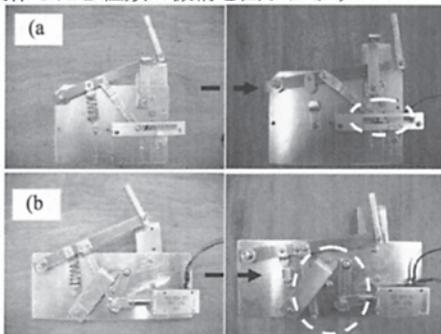


Fig.9 (a)機構A と(b)機構Bのプロトタイプ

## 2.2.2. 運搬・配置機構制御システム

### 2.2.2.1. 概要

図10に、試作した運搬・配置機構を制御するシステムを示す。制御システムは、PC、制御用ボード、リレーで構成されている。制御用ボードは、Ritech Interface Board IF-0145-2(PCIバス規格で、AD8ch, DA8ch, PIO32ch, PWMジェネレータ16ch, エンコーダ・カウンタ8ch) (以後、RIB)を使用する。レスキューロボットと見立てるZENはLinuxを搭載し、RIBを用いてロック機構の制御を行うことが可能である。

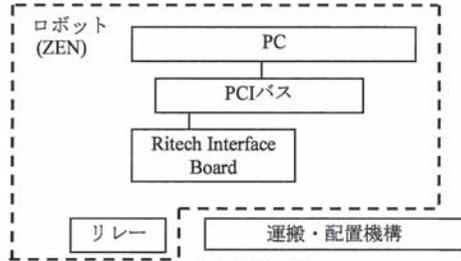


図10 運搬・配置機構制御システム

### 2.2.2.2. 動作原理

図11に制御信号の流れを示す。RIBを使用して運搬・配置機構を制御する際は、RIBのDAコンバータを用いる。ソレノイドに対するON/OFF設定には、ZENに搭載している24[V]のDCバッテリーを使用し、この24[V]の電圧をRIBから制御する。リレーには、ソレノイドを動作させるための24[V]と、RIBからリレーをON/OFFの設定をするための電圧(0 or 5[V])が必要である。

RIBからのlow(0[V])/high(5[V])信号で運搬・配置機構を制御し、ソレノイドを動作させるための電圧(24[V])をZENから供給する。これにより、運搬・配置機構を動作させ、センサノードを配置する。

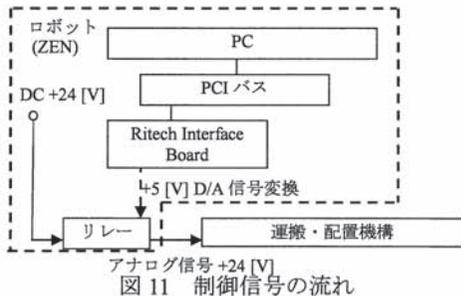


図11 制御信号の流れ

## 3. 実験・評価

本節では、開発したセンサノードと運搬・配置機構について実験・評価を行う。

### 3.1 センサノードの機能確認

試作したセンサノードの情報収集機能、アドホ

ックネットワーク機能とネットワーク切断時における復旧性を確認する実験を行った。実験環境を図 12 に示す。ビルの存在する屋外環境においてアドホックネットワークを構築する。センサノードは、カメラから画像を取得し、画像データをホスト PC へ FTP 転送する。

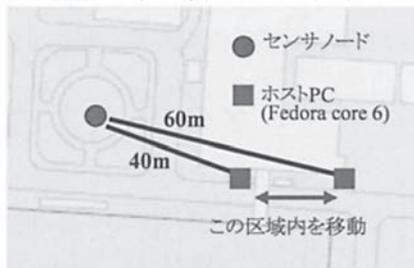


図 12 実験環境

センサノードは約 1 秒ごとに解像度 320x240、ファイルサイズ約 10kbyte の画像を取得し、ファイル名を撮影した時刻+緯度+経度に変更する。ノート PC を、実験環境においてセンサノードの通信領域内にある A 地点に設置し、データが来ることを確認してから B 地点に移動する。B 地点でデータがこないことを確認すると、A 地点に戻ることを数回繰り返す。表 1 にホスト PC での受信結果を示す。

受信画像数	427
時間情報と位置情報を含むデータの数	81
画像の受信にかかる平均時間 [秒/データ]	2.3
画像データの取得にかかった総時間 [秒]	975

表 1 実験結果

ホスト PC では、センサノードで取得した時刻、北緯、東経の座標と、画像データ (図 13) を確認できた。



図 13 センサノードで取得した画像

図 14 に、ホスト PC における、各画像受信に要した時間を示す。画像の受信に時間がかかっている部分は、B 地点において通信が一時途切れた状態を示している。

このあと、再び通信が可能になると、同程度の速度で転送が行われることを確認した。

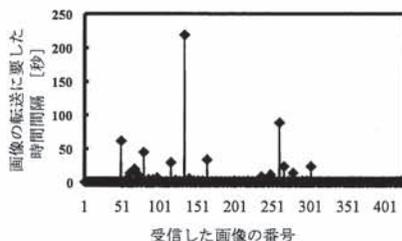


図 14 画像取得の時間間隔

### 3.2 運搬・配置機構の機能確認

#### 3.2.1. 実験概要

ロボットがセンサノードの配置動作を行った位置から、センサノードの実際の位置までの距離 (以後、配置距離) を測定することで、運搬・配置機構の性能評価を行う。この実験を行うために、性能評価の基準を定める。センサノードに搭載されたカメラの撮像データが目標物を十分視認出来るか否か下に許容できる配置距離を決定する。そして、決定した配置距離内にセンサノードが配置されるか否かをセンサノード配置実験により測定する。

#### 3.2.2. 基礎実験

基礎実験の概要図を図 15 に示す。対象とするセンサノードは被災地情報を収集することを目的としていることから、カメラが撮像する対象物を人の顔の大きさ [7] と同サイズの文字“A”と決定した。

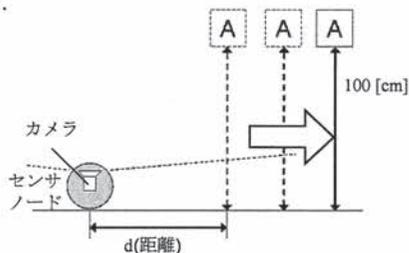


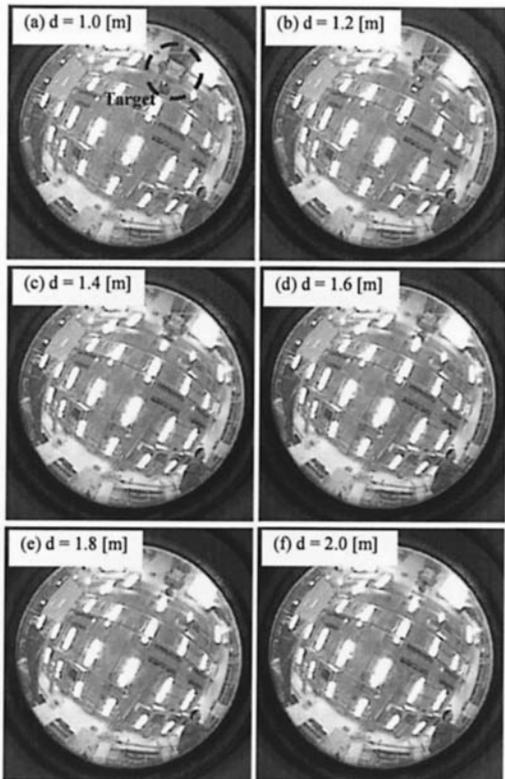
図 15 運搬・配置機構の基礎実験

撮像したデータを図 16 に示す。カメラと対象物の距離を 0.2 [m] 間隔で離していき、各撮像データが十分視認出来るか否かのアンケートを数人に行った。その結果、カメラと対象物の距離が 1.4 [m] 以内であれば十分に視認出来ると決定した。以上より、目標とする配置距離を 1.4 [m] と定める。

#### 3.2.3. センサノード配置実験

図 17 に、センサノード配置実験の概要を示す。基礎実験の結果より決定した目標配置距離 1.4

[m]以内に配置出来るか運搬・配置機構のスロープ角度別に各 10 回測定し、最大値、最小値、平均値を測定した。測定結果を示す図 17 から分かるように、運搬・配置機構の各角度( $10^{\circ}$  ~  $30^{\circ}$ )の全てが目標距離以内に配置出来ることが分かる。



(a)d(距離) = 1.0 [m] (b)d = 1.2 [m]  
(c)d = 1.4 [m] (d)d = 1.6 [m]  
(e)d = 1.8 [m] (f)d = 2.0 [m]

図 15 全方位画像による認識性能の評価実験

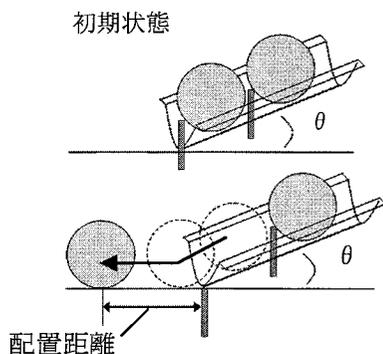


図 16 センサノード配置実験

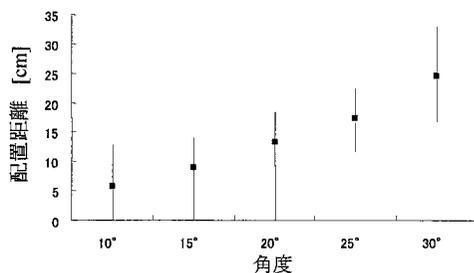


Fig.17 センサノード配置実験の結果

### 3.2.4. 結果・考察

センサノード配置実験より、運搬・配置機構のスロープ角度が  $30^{\circ}$  まで目標距離 1.4 [m]以内に配置出来ることが分かる。しかし、スロープの角度を  $20^{\circ}$  以上に設定した場合、センサノードを支える支持棒の長さによっては乗り越えてしまう時がある。この問題を考慮すると、支持棒の長さを角度に合わせた設計にする、又は、スロープの角度を  $15^{\circ}$  以下に設定した方が良い結果が得られることが分かった。

## 4. おわりに

本稿では、大規模災害発生後に行われる被災地情報収集を想定したセンサノードの機能について検討し、設計・試作を行った。また、ロボットに装備されるセンサノード運搬・配置機構の試作も行った。試作したセンサノードと運搬・配置機構の機能を確認するために、実験・評価を行った。

今後は、センサノードを、複数作成し、センサネットワークの構築を行うとともに、通信プロトコルや情報管理について検討する。また、運搬・配置機構の改良や、センサノードの再配置を実現する上で必要な回収機構についても検討していく予定である。

## 参考文献

- [1] 文部科学省「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」  
[http://www.mext.go.jp/a\\_menu/kaihatu/jishin/04031203.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/kaihatu/jishin/04031203.htm)
- [2] 井上, 他: "瓦礫内を分散探索するセンサユニット「探索ボール」の開発 -第5報 ボールの分散に対する形状の効果-", ロボティクス・メカトロニクス講演会'05 講演論文集, 2A1-S-077, 2005.
- [3] <http://www.remingtontd.com/>
- [4] 羽田靖史, 他: "瓦礫内の音声を集めるレスキュー用知的データキャリアの開発" 2004 JSME Conference on Robotics and Mechatronics (ROBOMEC '04) 講演論文集 (CDROM), 1A1-H1-40, 2004.
- [5] Uppsala University Ad Hoc Implementation Portal  
<http://core.it.uu.se/AdHoc>
- [6] 浅岡一, 佐藤雅俊, 嘉悦早人, 尾崎功一, 松元明弘, 遠藤勲, "3自由度独立駆動型全方向移動ロボットの開発," 日本ロボット学会誌, vol. 14, no. 2, pp. 249-254 (1996).
- [7] 河内まき子他, "設計のための人体寸法データ集", 生命工学工業技術研究所技術報告, 1994.

## 正 誤

情報処理学会研究報告 2007-UBI-14 (2007年5月23日) の下記論文に誤りがありました。

(7) 二重球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

43 ページ

### ●[和文 著者名:所属]

(誤×)

鈴木 剛† 佐藤 秀夫† 川端 邦明‡ 嘉悦 早人‡ 焼山 康礼† 戸辺 義人†  
†東京電機大学 ‡理化学研究所

↓

(正○)

鈴木 剛† 佐藤 秀夫† 杉崎 隆二† 川端 邦明‡ 嘉悦 早人‡ 羽田 靖史\*  
焼山 康礼† 戸辺 義人†  
†東京電機大学 ‡(独)理化学研究所 \*(独)情報通信研究機構

### ●[英文 著者名:所属]

(誤×)

Tsuyoshi SUZUKI† Hideo SATO† Kuniaki KAWABATA‡ Hayato KAETSU‡  
Yasunori YAKIYAMA† Yoshito TOBE†  
†Tokyo Denki Univ. ‡RIKEN

↓

(正○)

Tsuyoshi SUZUKI† Hideo SATO† Ryuji SUGIZAKI† Kuniaki KAWABATA‡  
Hayato KAETSU‡ Yasushi HADA\* Yasunori YAKIYAMA† Yoshito TOBE†  
†Tokyo Denki Univ. ‡RIKEN \*NICT