

## 5. 災害救助支援ロボットによるリモート環境計測システムの検討

奥川雅之

### 1. はじめに

阪神淡路大震災後、ロボット工学分野の研究者を中心に、ロボット技術の導入による効率的な救助活動支援の必要性が議論されるようになった。東海地方では、東北地方太平洋沖地震のような大規模地震の発生が予想されている。そこで、本研究では、防災キャンパス構想の一環として、大学にレスキューロボット隊を組織することを目的とした災害救助活動支援ロボットの開発を目指している。東日本大震災におけるレスキューロボットの利用状況から、次のような問題点が挙げられる。

- ・ 現時点では、災害現場に教員や学生は入れない（ロボットの操縦や調整もできない）
- ・ 消防署にロボットを配備するのは経済的に難しい
- ・ 被災現場（倒壊家屋など）には、所有者の許可なく侵入し、捜索することができない
- ・ ロボットの支援内容には限界がある

そこで、解決策として、ロボットの機能は限定されるが、安価で操縦が容易なロボットを開発し、大学で、レスキューロボットを所有することを目指す。ロボットの通常メンテナンスや地元の消防団員に対する操縦講習を大学で実施し、訓練場所（別途準備が必要）の提供が可能となるとともに、学生消防団を結成することができれば、ロボットの利用範囲が広がるものとする。

また、企業防災の観点から、災害発生後の工場や事務所の被災状況調査への利用も検討する。さらに、搭載する計測機器を変更することにより、平常時における種々の検査用途利用も考えられる。

現在研究されているレスキューロボットは、遠隔操縦型で、小型カメラや各種測定器が搭載され、被害調査や人命探査を目的としている。特に、高難易度の不整地を走破するために、操縦者の操縦によってロボットの姿勢を制御することが可能な能動サブクローラ機構が採用されている [1]。しかし、能動サブクローラを有するロボットの制御には、操縦者の熟練を要するため、操縦者への負担が増加する。そのため、レスキューロボットの配備数が増加したとしても、操縦者の確保が問題となる。そこで、外力によって可動する受動サブクローラ機構を導入することにより、操縦者への負担を減らすことができると考えられる。本研究では、受動サブクローラを有し、遠隔操縦支援を行うことで、レスキューロボットの不整地走破性の向上を図る。

一方で、不整地走行が可能な遠隔操縦型レスキューロボットに GPS モジュールを搭載することにより、被災地の画像・音声データ、各種センサデータをリアルタイムに収集し、GIS（地理情報システム）上に随時更新することが可能となり、レスキュー隊の安全性を確保しつつ、捜索対象家屋やエリア単位での詳細な情報を得ることが可能となる。災害発生初期段階における被災状況把握作業の効率化を実現するものである。また、複数のロボットから得られる情報を GIS に統合することによって、広範囲にわたる最新の被災状況を効率よく収集することが可能となる。その結果、救助活動対策に有効活用されるだけでなく、継続的な情報収集により、復興計画への活用も期待される。

### 2. 受動サブクローラを有するクローラ型移動ロボット Scott（スコット）

#### 2.1 設計コンセプト

現場投入型レスキューロボットの製作にあたり設計コンセプトとして、災害現場における、情報収集人命探査を行うために、以下のような性能を満たすものとした。

- (1) 操縦者による危険区域外からの遠隔操縦が可能。
- (2) 倒壊した建物内や散乱したガレキの上などの不整地でも走行が可能であること。

- (3) 半壊または倒壊の危険がある建物の中に侵入し、内部の情報収集および階段走行が可能であること。
- (4) 不足の事態にも対応でき、行動不能の事態に陥ることがないこと。
- (5) 操縦者への負担の軽減、操作の簡略化。

## 2.2 試作ロボットの概要

図1に本研究で製作した Scott1 の外観を示す。駆動用モータ (20W) を内蔵するメインクローラを有し、前後にサブクローラを有している。サブクローラの各回転部は、受動性を有しているため、路面形状に応じて、可動することができる。ただし、左右のサブクローラは独立に回転することはできない。電源は、LiFe バッテリー (23.1 V、2,300 mAh) を2本搭載している。制御部にはサンリツオートメーション社製 TPIP システムを使用している。ロボットの本体寸法は、サブクローラを展開した状態では、全長 720 mm、幅 390 mm × 高さ 100 mm であり、収納状態では、全長 370 mm、幅 390 mm × 高さ 145 mm である。ロボットの本体重量は約 20 kg (搭載物を除く)、最大段差踏破高さは、230 mm である。

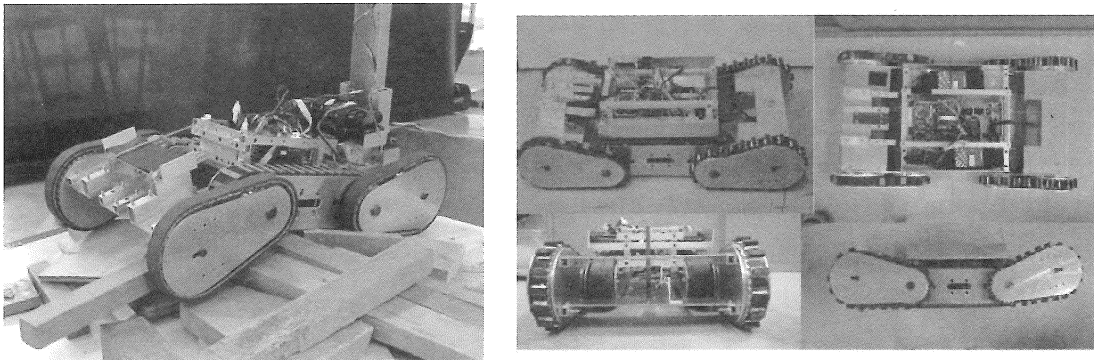


図1 災害救助活動支援ロボット「Scott (スコット)」の外観

## 2.3 受動サブクローラの利点と問題点

図 (a) に示すような能動サブクローラを有するロボットの場合、操縦者が各サブクローラを制御するため、操縦が複雑となり、操縦者側への負担が大きいのが欠点である。これに対して、図 (b) に示す受動サブクローラを有したロボットは、サブクローラが路面形状に沿って変化することにより、操縦者は進行方向の指示のみで段差踏破が可能である [2][3]。

不整地を走行する場合、路面とのグリップ力と高効率の推進力確保と、走行による瓦礫などの倒壊を防ぐために、低い接地圧での走行を実現するためには、ロボットの移動機構部と路面との接地面積をより多く確保することが望まれる。受動サブクローラを設計する際のポイントは、先端部のタイミングプーリーと伝達部のタイミングプーリーとの直径差である。両者の直径が同一の場合、サブクローラに生じる力は、進行方向のみとなるが、先端部タイミングプーリーの直径を伝達側よりも大きくすることで上向きの鉛直方向にも力が発生する。その結果、サブクローラ部が、路面の凹凸に応じて回転することによって接地面を確保することができ、制御すること無く、段差踏破を実現するものである。しかし、段差高さや段差形状によって、サブクローラ部が本体上方側に倒れてしまう場合やサブクローラ自体が下方に入り込んでしまうことがあり、サブクローラ部の回転角度を復元することができなくなる。そのため、サブクローラの回転角度を拘束する必要がある点が課題となっていた。そこで、本年度は、改善策として、ベルトの巻き上げによる可変角度拘束機構を設計製作し、サブクローラ部の拘束角度を手動によって変更することを可能とした。

## 2.4 段差踏破実験

### 2.4.1 単純段差踏破

試作ロボットの段差踏破性能を評価するために、ロボットの重心位置部分に貼付したマーカーをカメラで撮影

し、画像処理することにより、重心位置の移動軌跡を計測した。また、比較のため、物理演算ライブラリ ODE(Open Dynamics Engine) による数値計算結果を使用した。図 2 は、高さ 200 mm、奥行 450 mm の単純段差に対して、可変角度拘束機構により、サブクローラ部の拘束角度を  $\pm 60 \text{ deg}$  と  $\pm 10 \text{ deg}$  に設定した場合の実験結果を示したものである。拘束範囲角度が大きい場合は、段差形状に応じてサブクローラ部が変化しているのに対して、拘束範囲角度が狭い場合は、段差乗上げ時と降りる時に、段差から大きく離れ、特に、降りる際に、ロボット本体部から落下していることから、ロボット本体に負担が生じることが懸念される。以上より、単純段差踏破の場合、受動サブクローラの拘束角度範囲を大きくすることで、路面形状に沿った効率的な踏破が可能であるといえる。

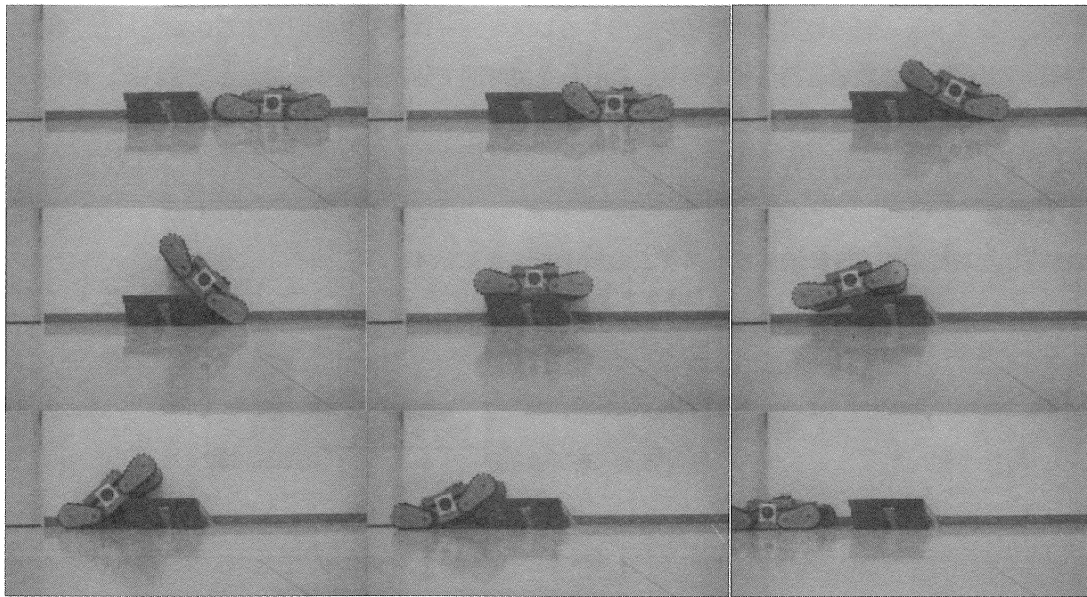


図 2 単純段差踏破実験の様子 (高さ 200 mm、奥行 450 mm)

#### 2.4.2 階段踏破

ステップ高さ 200 mm および奥行 300 mm、階段角度  $33 \text{ deg}$  の階段に対して、拘束角度範囲  $\pm 60 \text{ deg}$  と  $\pm 10 \text{ deg}$  と設定し、実験を行った。拘束角度範囲が大きい場合は、階段を 1 段ずつ踏破している様子が確認される。一方、拘束角度範囲が狭い場合は、1 段目を登ってから、階段の斜面に平行に踏破しているため、時間のロスが少ない。階段踏破の場合、拘束角度範囲は狭い方が有効である。図 3 に階段踏破実験の様子を示す。

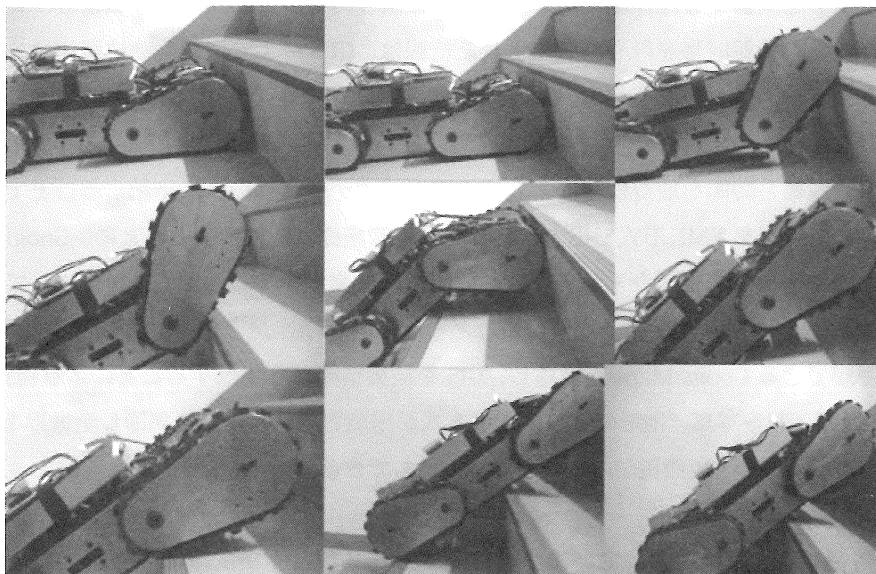


図 3 階段踏破実験の様子 (ステップ高さ 200 mm および奥行 300 mm、階段角度  $33 \text{ deg}$ )

### 3. GoogleMaps を活用した被災情報 GIS の動的生成

#### 3.1 被災情報の収集および伝達の現状

災害発生直後は、被害情報等が極度に不足する中、多くの現場において多数の部隊が活動し、またそれらの活動が流動的に変化し、新たに緊急対応が必要な事案が生じる。そのため、それぞれの現場においても組織間、部隊間での意思の疎通、連携が必須となる。しかし、組織で情報様式が違うため、現在、情報共有手段が確立されていない。また、現場で収集した情報を調整本部へ報告する方法は、無線による音声通信か、ミーティングでの報告による情報集約手法であるため、対策本部では、実時間での被災情報の記録や把握が困難な状態である。

本研究では、レスキュー隊の被災救助活動を支援するレスキューロボットが収集する情報として、映像、音声やセンサ情報など様々な種類の詳細情報があり、これらを実時間で随時共有することができれば、流動的に状況が変化する初動対応に対して有効であると考え、レスキューロボットが収集した情報を GIS 上に、実時間で動的に生成するシステムの構築を行った。

#### 3.2 システム構成

今年度構築した被災情報 GIS 動的生成システムの構成を図 4 に示す。

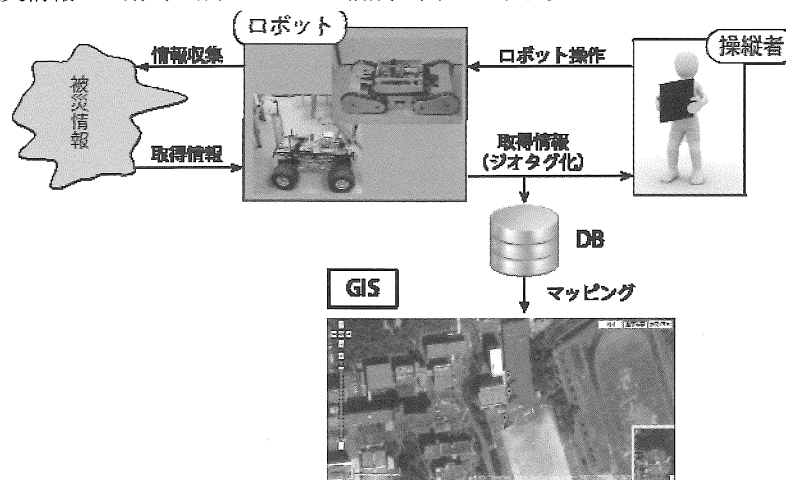


図 4 被災情報 GIS 動的生成システム

本システムでは、コントローラーからの入力とあらかじめ設定しておいたロボットの制御内容のキーイベントと比較し、ロボットを制御する操作端末用プログラムにより行う。このプログラムより、レスキューロボットを操作し、画像などの情報収集を行う。収集された情報は、GPS により取得した位置座標、時間と関連づけされリレーショナルデータベース管理システムである MySQL へ格納される。このジオタグ付与情報を XML 形式で出力する。出力された XML ファイルをもとに視覚化を行う。災害時は、情報収集の位置と時間の情報が重要であるため、位置情報と時間を取得情報に 2 次元の表形式でデータベースに格納することでジオタグとして関連付けを行う。この情報を XML 形式で出力し、時間、位置座標、取得情報をもとに、GoogleMaps 上にマーカーをドロップし、マーカーの情報ウィンドウ内に取得情報を表示することで GIS を生成している。地図データには、通常使い慣れている WWW ブラウザ環境などで直感的な操作ができ、目標場所の地図やその付近の様子を確認することができる GoogleMaps を使用し、GIS を被災情報から生成することにより視覚化を実現する。GoogleMaps は、地図、航空写真、地形の 3 つの表示方式が用意され、ズームを調節し全世界を俯瞰することができ、衛星写真を表示することで震災前の情報を得ることもできる。

#### 3.3 評価実験

実時間の取得情報が GIS に集約されているかを確認するために、本研究室で製作したレスキューロボット「Scott」と、本システムを連動させ、5m 程度離れたところから操作者がキー入力により画像情報を取得したのち、

取得した位置に画像が自動的にマッピングされる。生成された GIS について結果を確認し、実用的な性能が得られるかを確認する。画像の取得位置は、GPS モジュールの性能を評価するため、実験 1、近くに建物のない開けた場所、実験 2、近くに大きな建物がある場所、実験 3、建物内の 3 箇所で行った。実験時のハードウェア構成を図 5 に示す。操作端末として Acer 製の ICONIATAB-W500 を使用し、GPS モジュールには、GT-723F を使用した。

本実験では、ロボットの操作を行うための遠隔操作プログラムと被災情報 GIS の動的生成システムを同じコンピュータに搭載し、実験を行った。実験は、愛知工業大学で 2012 年 2 月 12 日晴れの際に行った。実験の様子を図に示す。

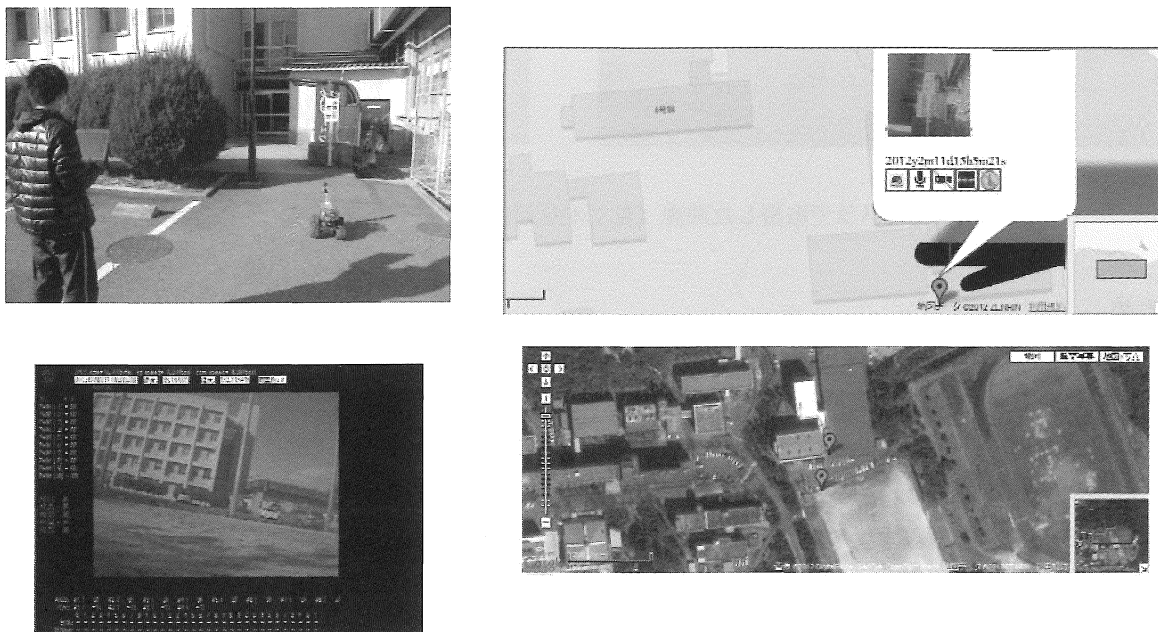


図 5 検証実験の様子

#### 4. ロボットによるリモート環境計測の実現

屋外環境下での音響（発信音や声）情報を取得するために、試作ロボット Scott にロボットアームを搭載する。今年度は、設計及び試作を行った。図 6 にロボットアームを搭載した様子を示す。また、熱画像カメラとして、NEC/AVIO 社製 C250v を導入した。

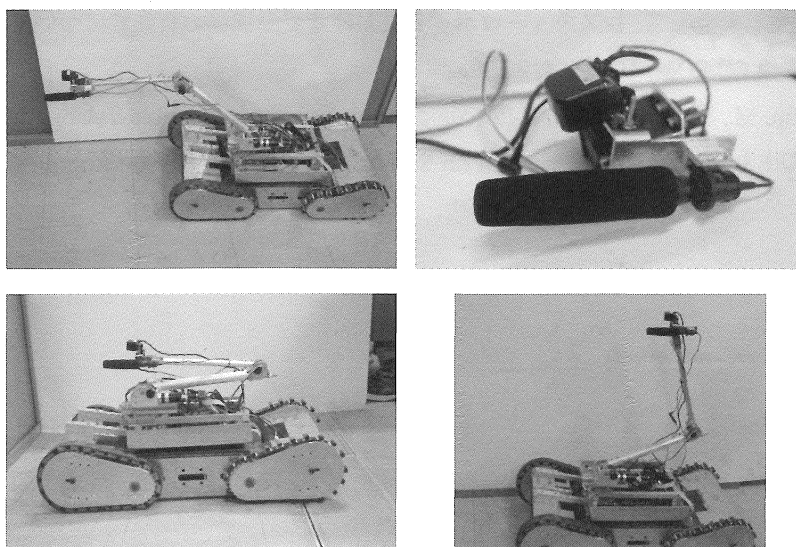


図 6 ロボットアーム搭載した状態

図7に熱画像カメラによって撮影された写真を示す。災害時だけでなく、様々なモニタリング作業に利用することができる。

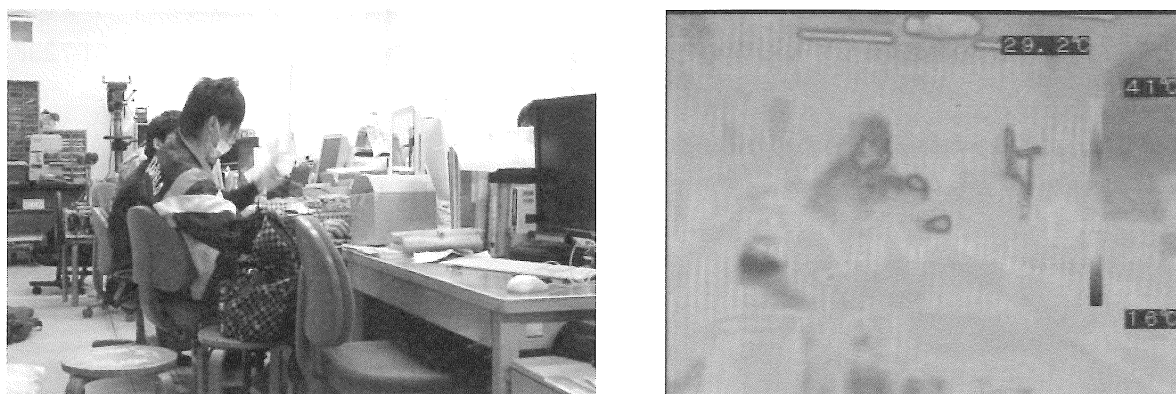


図7 熱画像カメラで取得した映像（左：オリジナル、右：熱画像カメラで撮影）

## 5. まとめ

本論文では、防災キャンパス構想の一環として、容易な操縦性の実現を目指した受動サブクローラを有するクローラ型移動ロボット Scott の改善および環境計測用ロボットアームの試作を行った。また、ロボットに GPS モジュールを搭載し、GoogleMaps を利用することにより、被災情報 GIS システムの動的生成システムの構築を行った。前者に関しては、2011 年 11 月 27 日に神戸の国際レスキューシステム研究機構にある評価フィールドにて実験した結果、その有効性が確認された。また、単純段差および階段段差に関する検証実験により可変角度拘束機構の有効性が確認された。また、カメラやマイクを先端部に有するロボットアームを試作したが、駆動部分に問題が生じた。熱画像カメラに関しては、使用条件に制約はあるが、今後、屋外実験を通じてその有効性について検証する予定である。後者に関しては、基本システムの構築は完了したので、改良・改善を通じて、実用化を目指す。今後は、豊田消防と連携し、評価実験を実施して行く予定である。

## 参考文献

- [1] 小柳栄次, サブクローラを持つレスキューロボット, 日本ロボット学会誌, Vol. 28, No. 2, pp. 15-18, 2010.
- [2] 結城健太, 五十嵐健生, 大金一二, レスキューロボットにおける受動機構の有効性について, 第 28 回日本ロボット学会学術講演論文集 CD-ROM, AC3G1-4, 2010.
- [3] Kang, S., Lee, W., Kim, M., Shin, K., ROBHAZ-Rescue : Rough-Terrain Negotiable Teleoperated Mobile Robot for Rescue Mission, IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics (SSRR2005), pp. 105-110, 2005.