

レスキューロボットの開発 中越地震における活動

桐蔭横浜大学 ロボット工学科
教授 小柳 栄次

1. はじめに

2004年10月23日17時56分、新潟県中部を震源域として、最大震度7を記録した新潟県中越地震が発生した。40余名の尊い命を奪い、広範囲の震源域と頻発する余震は、復旧活動の大きな障害となった。

本学で研究中のレスキューロボットは、大規模な地下街が大震災に見舞われ、「不特定多数の人たちが地下街に取り残されている可能性がある」ということを想定し開発を行い、被災地の瓦礫上の踏破能力、要救助者の搜索能力、3Dによる被災地環境地図の取得などを中心に研究している。

一方、開発中のレスキューロボットの客観的な性能評価の場としてRoboCup世界大会レスキューロボットリーグに参加している。2004年RoboCup世界大会はリスボンで開催され、11ヶ国37チームがエントリーしたが、本学は、初出場で優勝するという快挙を成し遂げた。

この報告では、初めて実際の被災現場で、特にそのための訓練をしていない学生とともに、レスキュー活動を行った経験と得られた知見を報告する。また、特にロボットによるレスキュー活動では、震災直後の人命救助活動だけでなく、災害復旧活動を支援することが可能であるということを検証した。

2. Toin Pelicanチーム

Toin Pelicanは、実用化を目指したレスキューロボットシステムを開発している本学のレスキューチームである。

ロボット (TP02) の特徴

(1) メカニズム

雨水管崩落の調査に用いたロボット本体を図1に、仕様を表1に示す。TP02は、前方の2本のフリッパー型クローラと、左右2本のメインクローラで構成される、形状可変型4クローラシステムを持つのが特徴である。電源のバッテリーは、リチウムポリマを使用し、およそ1時間程度連続して稼働できる。しかし、無線通信の通信距離の関係上、行動範囲はあまり広くない。

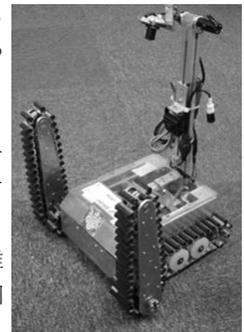


図1 形状可変型4クローラシステム

TP02は通常、図1に示すように前方2本のフリッパー型クローラを立てた状態で走

表1 TP02の仕様

寸法	300×250×230 mm
重量	3.6 kg
移動速度	60 cm/sec
稼働時間	1 h

行する。このとき、接地しているのはフリップパー型クローラの図2に示す部分のみで、メインクローラはほとんど接地していない。これはフリップパー型クローラの根元部分に用いられているスプロケットの径が、メインクローラのスプロケットより大きい構造をしているためである。このため、メインクローラは平坦地走行時は動力を伝達するための送りチェーンとしての機能しかない。メインクローラは凹凸のある地形や、瓦礫などを含む不整地走行の場合にクローラとして機能するようになっている。このように、本研究で開発したクローラシステムは、平坦地走行時には接地圧の分布が4輪車とほぼ同じ状態となり、走行時のロスが少なく、旋回性能も良いものとなっている。

図1に示した姿勢でも不整地を走行することはある程度可能である。しかし、砂利のようなクローラが滑る場合や、瓦礫に乗り上げてスタックしてしまった場合などでは、フリップ

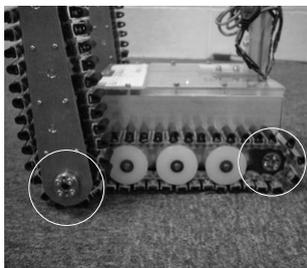


図2 TP02側面丸で示した部分が接地している

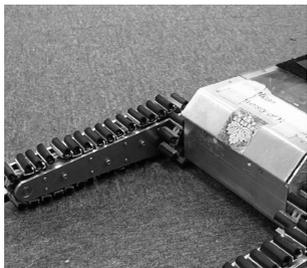


図3 TP02不整地走行時の姿勢

パー型クローラを状況に応じて可動させて走行する。砂利のようなクローラが滑る状況では、図3に示すような姿勢をとり、駆動力を維持しながら走破する。

(2) コントロールシステム

TP02の制御にはブレインズ社製の制御基板を使用している。この基板は6chのモータドライバ、4chのカメラ入力、ジャイロセンサ、加速度センサが搭載されている。また、OSにはNetBSDを用いている。

TP02への操作入力は、ジョイパッドにより行い、操縦者は、カメラから得られた画像をもとにテレオペレーションで操縦する。

(3) センサシステム

TP02には雨水管内の情報を取得するために以下に示すセンサが装備されている。

・前方視界用カメラ (AXIS社製 AXIS2130R)

本システムはテレオペレーションでロボットを操作するため、カメラから得られる情報のウエイトが非常に大きい。死角を少なくするため、パン・チルト角度が大きく、またズーム倍率の高いAXIS社製のWebカメラを用いた。なお、このカメラは制御基板とは独立した電源と通信用のルータに接続されている。

・俯瞰カメラ (小型CCDカメラ)

前方視界用とは別に、ロボット本体の高い位置にロボットとその周囲の情報を得るための俯瞰用のカメラを装備している。俯瞰カメラもパン・チルト機能を備えているため、広範囲の情報を取得できる。また、後方視界用のカメラとしても機能する。

・ロータリエンコーダ (OMRON社製 E6A2-CW3C)

TP02の後部に装備され、補助輪の回転数をカウントすることにより走行距離を取得する。

・加速度センサ (Analog Devices社製 ADXL202)

制御基板に実装されている加速度センサを2軸の傾斜角センサとして使用し、積分値よりピッチ角、ロール角を取得している。取得した傾斜角の情報は、操作作用のモニタに赤と黒の2本のバーによって表示される。

・カメラ用照明

雨水管内を撮影するためには非常に多くの光量が必要である。第1次調査では、高輝度白色LEDをロボットの前後に配置したが、光量不足により不鮮明な画像しか取得できなかった。第2次調査では、前方視界用カメラのレンズ周辺に放射状に高輝度白色LEDを30個

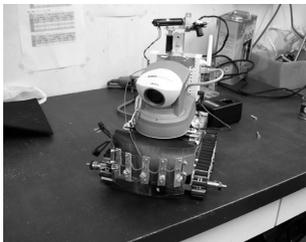


図4 TP02第1次調査仕様、フリップper型コーラを外した状態



図5 管路内へTP02を投入する



図6 管路内を探索中のTP02(後方より)

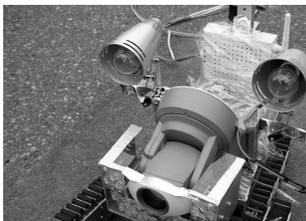


図7 TP02第2次調査仕様

配置し、100V/100Wの小型照明を2個追加した。なお、小型照明の電源は(AC100V)外部から有線で供給した。

(4) 通信システム

ノートパソコンとロボットの通信は、無線LANに使用されているIEEE 802.11aを使用している。通信距離は約40mと短いため、被災地での運用時にはアクセスポイントを雨水管内に投入して通信を確保した。なお、俯瞰カ

メラは制御基板のカメラ入力に接続されているが、前方視界用のWebカメラは独立したルータに接続されているため、どちらか一方のカメラとの通信が途切れても、他方のカメラの画像を取得できるようになっている。

3. 被災地での調査活動

本チームの調査活動の大きな特徴として、システムの運用にあたり、雨水管内には一人が入らず調査活動が行える点がある。システムのセッティングから探査、ロボットの回収まで、人は全員が道路上で作業を遂行するため、安全で迅速な探査活動を行うことができる。また、全てのシステムを本学で開発しているため、状況に応じて短時間でロボットを改良することができる。そのため、状況に応じた迅速な対応が可能である。

(1) 第1次調査(2004年11月9日~12日)

長岡市長岡ニュータウン付近の雨水管の第1次調査を行った。直径600mmの雨水管の管路内を、およそ17m走行し、管路内の情報収集に成功した。管路内の水深は1cm未満と、調査には何ら問題無かった。なお、このときのTP02は、走行距離情報と傾斜角情報を取得する機能を持たない仕様であった。

第1次調査で記録したVTRについて、長岡市下水道建設課の方と必要とされる最終的なデータについて確認をした。本システムへの要望として次の2点が挙げられた。

- ・撮影した映像に管路の距離情報が必要であること
- ・管路の傾斜角の情報の取得

(2) 第2次調査(2004年11月16日~19日)

第1次調査で得られた知見をもとに、レスキューロボットシステムの改良を行い、再度同地区の調査を行った。ロボット、システムの改良点は次の通りである。

- ・走行距離を取得するためにロータリエンコ

ーダを装備

- ・加速度センサより、傾斜角情報（ピッチ角・ロール角）を取得
- ・走行距離、傾斜角の情報をユーザインターフェースに表示
- ・前方視界用カメラのレンズ周辺に放射状に



図8 入り口付近の様子，雨水管の内部構造材が崩落し，管路内に堆積している状態

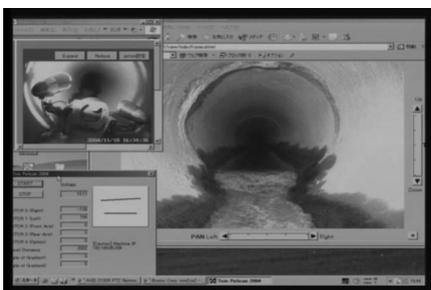


図9 入口より21m付近の様子，雨水管が大規模な地滑りにより，上下にずれてしまっている。この先の勾配は一部が逆転し，上流に向かうほど水深が深くなるという状態になっていた。

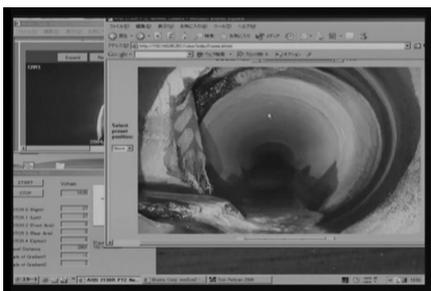


図10 入口から30m付近の様子，管路の結合部の一部が崩落し，内部構造が露出している。

高輝度白色LEDを30個配置

- ・100V/100Wの小型照明を2個追加
- 改良後のロボットを図7に示す。

第2次調査では直径500mmの雨水管を下流から上流へおよそ30m走行し，管路内の情報収集を行った。管路内の水深は，深いところで3cm以上あったが，特に問題なく調査することが出来た。

調査した管路内部の様子を図8～10に示す。第1次調査で問題となった点については，第2次調査ではほぼ解決することができた。残る課題としては，

- ・システムの運用の際の少人数化

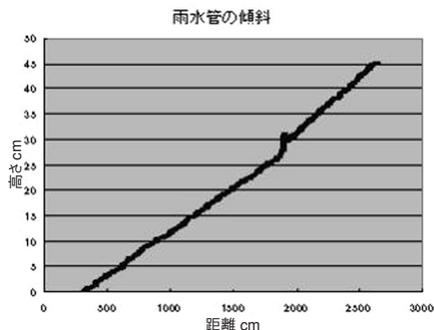
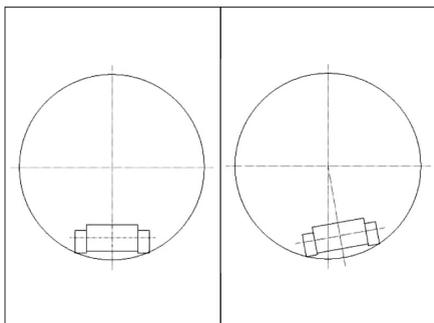


図11 調査した雨水管の傾斜角度



(a)ロボットと管が水平 (b)ロボットと管が平行でない
図12 雨水管内走行時のロボットの姿勢

・ロボットの防水機能の強化などが挙げられる。

4. 得られたデータと問題点

第2次調査で撮影したVTRと操作者用のモニタに表示された走行距離、傾斜角（ピッチ角）の情報をExcel上でプロットし、管路の傾斜を示すグラフを作成した。作成したグラフを図11に示す。

入口から3mの区間は内部構造材の崩落による堆積物のため、それらを通過した地点からのグラフとなっている。入口より約21m走行した地点（グラフ横軸2000cm付近）で管が3cmほど上下にずれていた。

このグラフの問題点は、測定が1回であること、得られたデータにはオドメトリの誤差や傾斜角の誤差を含んでいること、実際のデータとの比較がなされていないことが挙げられる。

(1) オドメトリの誤差

オドメトリを取る場合、駆動輪にエンコーダを取り付けるのが一般的である。しかし、不整地を走行する場合、瓦礫や土砂などでクローラがスリップし、正確な距離情報を取得することは困難である。特に、排水管では、水分によりスリップしやすい環境である。そこでTP02は、本体後部にロータリエンコーダと補助輪を取り付け、補助輪の回転より走行距離を取得している、しかし、この場合にも、瓦礫などによる路面の凹凸によって、距離データを正確に取ることは困難である。しかし、排水管の一つのユニットの長さは既

知であり、それらの長さ（通過した本数）により、キャリブレーション可能である。

(2) 傾斜角の誤差

管内を走行する際に、路面が平坦ではなく、湾曲しているため、ロボットと雨水管が常に水平であるとは限らない。これをキャリブレーションするには、ロール角とピッチ角の変化に着目する手法があるが、それについては現在検討中である。図12(a)の場合では問題ないが、(b)のようにロボットが傾いて走行している場合、管路が水平であっても傾斜角を出力することになる。

5. まとめ

比較的短期間の調査活動であったが、以下のような成果を上げることができた。

(1) 研究用に開発したレスキューロボットを短期間に改良し、実用的なシステムとして再構築し、教育研究と実践的な研究・災害支援活動を両立することができた。

(2) 開発の過程においては、実践的な課題とその問題解決能力の育成を行い、ロバスト性の高いシステムの開発を行うことができた。特に、信頼性の高いものづくりを現地での教育研究活動を通し実践することができた。

長岡市だけでも、下水道の完全な復旧に2～3年を要すといわれている。本学では、現在10m防水の新型ロボットの開発に向け準備中である。これは、これまでの調査で得られた知見を元に設計しており、少人数で、効率良く安全にデータ収集可能なシステムとして構築する予定である。