

## 8. 調査ロボットによる可燃性ガス濃度測定および調査報告レポートの自動作成

奥川雅之・山本義幸・倉橋奨

### 1. はじめに

トンネルや橋梁などの社会インフラ構造物は、我々の日常生活において重要な役割を担っている。これら社会インフラの崩壊や機能不全は社会や人命に大きな影響を及ぼすことから、災害発生後の迅速な調査による被害状況把握および早期復旧だけでなく、適切な頻度での定期点検の実施など、インフラ設備の維持管理による防災が望まれている。国内では、2014年から、国土交通省と経済産業省が連携し、社会インフラ構造物に対するロボット技術応用を推進する研究開発プロジェクトとして、「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入」が始まった<sup>1)</sup>。昨年度に引き続き、「次世代社会インフラ用ロボット開発」における災害調査技術(トンネル災害)に選定された「受動適応クローラロボットによる災害調査システム」<sup>2)</sup>について、平成27年11月5日に国土技術政策総合研究所内実大トンネル実験施設で実施した第2回現場検証実験結果を報告する。本報告では、技術要件として挙げられた可燃性ガス濃度測定結果を中心に、提案システムの特徴の一つである調査レポート自動作成システムについて述べる。

### 2. 自動レポート作成システムの概要

トンネル内で自動車事故や崩落事故が発生した場合、毒性/引火性ガス(液体)の漏洩、積荷および壁面や天井板の崩落によるコンクリートや土砂など瓦礫の散乱、付帯設備の落下等が想定され、これらの事象は二次災害の要因となるため、災害現場では迅速な状況把握が必要である。このため、トンネルにおける災害調査では、調査現場に到達する技術、短時間で現場状況を把握する技術、効率よく調査結果を処理する技術が求められる。これらの技術は、インフラやプラント維持管理における日常の点検調査をロボットが代替する際にも要求される技術である。2015年6月から2016年の間に開催が予定されているARGOS Challengeという石油プラントの点検及び事故対応をテーマとしたロボットコンテストにおいても、点検結果を自動で報告することが義務付けられている<sup>3)</sup>。また、ロボットによる調査活動では、現場の変状、引火性ガスの有無(濃度)など調査箇所に関する位置を特定することが必要となる。本ロボットシステムでは、図1に示すように、ロボットによって取得した画像や動画、各種センサデータ等の調査結果をリアルタイムでデータベースに格納し、GIS(地理情報システム)上に表示するとともに、定められた様式にて調査レポートを自動的に生成することにより、「調査結果の見える化」を実現する。

SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)システムとして、ROS(Robot Operation System)環境で利

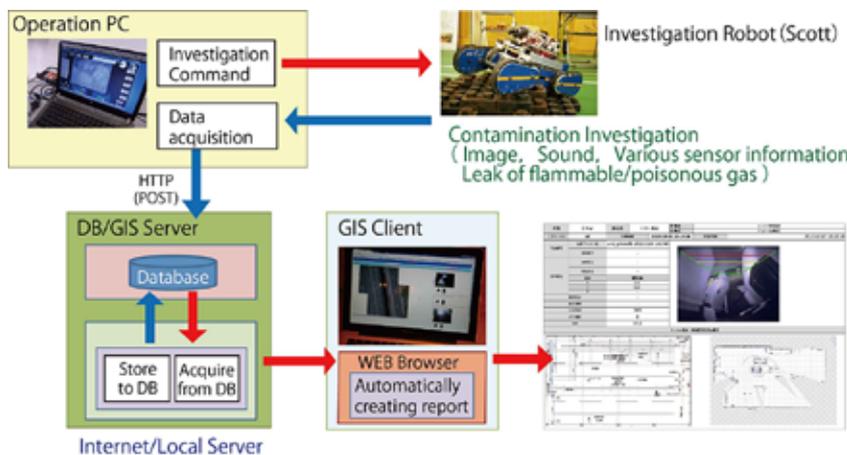


図1 調査結果の見える化（ローカルGIS/自動レポート作成）

用できるHector SLAM<sup>4)</sup>を採用している。GISでは地図データの他に温度、画像、音声などの調査情報も取得位置と共に記録することができる。調査ロボットに搭載した測域センサで取得した点群データをもとに、2次元SLAMにより環境地図の作成と調査ロボットの自己位置推定を行っている。

### 3. 現場実証実験

#### 3.1 可燃性ガス濃度測定

可燃性ガス濃度測定技術の検証を行う上で、実験方法が問題としてあげられている。第1回現場検証実験では、爆発の危険性があるために、検証項目自体から外された。第2回では、可燃性ガスの代わりに発電機の排ガス(CO)を測定することとなった。ロボットに理研計器株式会社のポケットブルマルチガスモニターGX-2009を搭載した。しかし、点検者が携帯して使用することが前提の測定器であるため、アラーム音や液晶モニタのバックライトなど、測定器の該当ボタンを押下しなければならなかった。また、ロボットに搭載されたコンピュータで測定データを取得するためには、赤外線通信を利用するとともに、測定器内部のファームウェアを変更する必要がある。これらの問題点を解決するために、測定器の改造を行った。ただし、今回の実験では、赤外線通信プロトコルへの対応が間に合わなかったため、測定器の液晶モニタを搭載カメラにより撮影することでセンサ値を記録することとした。トンネル入口から、搬送ロボットに調査ロボットを搭載し、移動を開始した。350m地点で無線LANが不安定になったため、入口に設置した指向性アンテナの調整しながら調査を続行し、395m地点で湧水設備を発見した。同一地点にて発電機も発見し、調査ロボット搭載のガス濃度測定器表示部をカメラ映像として読み取りCO値157ppmを確認した。しかし、記録のため保存した画像では、表示部の数値は121ppmであった。図2に測定器の液晶モニタを示す。このように、ガス濃度を測定する場合、値の変動が激しいため、継続的かつ分布的な記録の必要性がある。



図2 測定結果

#### 3.2 環境地図作成

SLAMによって得られる精度は、LRFおよびSLAMシステムとの通信品質と周囲の測定対象物の大きさや数に影響されることが分かった。今回の実験では、SLAMの分解能(グリッドサイズ)を20cmとしたが、通信が断続的である状況では、正確な環境地図が得られない場合があった。SLAMでは、取得した点群データからマッチング対象を判断しているため、対象物が大きく、数が多い環境では断続的な測定データに対してもマッチング対象を判断できるが、対象物が小さい、あるいは少ない場合には、マッチング対象を正確に判断できないためであると考えられる。自動車の車列環境では、対象物が大きく、台数も多いため通信が不安定な状況においても、図3のようにマッピングができることが確認できた。

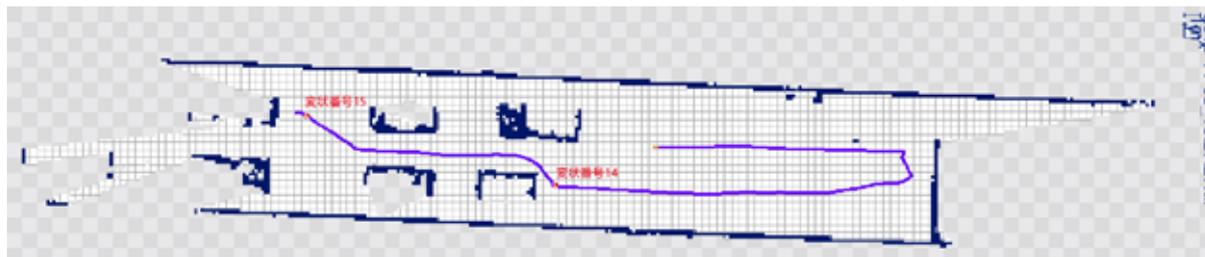


図3 SLAMにより生成された地図

### 3.3 調査結果表示およびレポート作成

操作ロボットからGISのデータベースに調査情報を送信することにより、ほぼ同時にGISの情報画面にデータ取得位置、撮影画像、センサ情報を表示することができた。データ取得位置の情報は、SLAMとの通信が不安定であったため、誤差が生じていた。レポートには、撮影情報としてカメラの向きも表示でき、実際の撮影方向とほぼ合致していることが確認できたが、方位としての正確さは未確認である。

表示された取得情報一覧画面を図4に示す。詳細情報画面には、データを取得した位置、写真、センサ情報が表示でき、その場で調査レポートを出力することができた。操作用ロボットが、データベースにロボットの情報を送るタイミングとほぼ同時に、ローカルGIS上に情報（自己位置、写真、センサー情報）が表示されることを確認した。

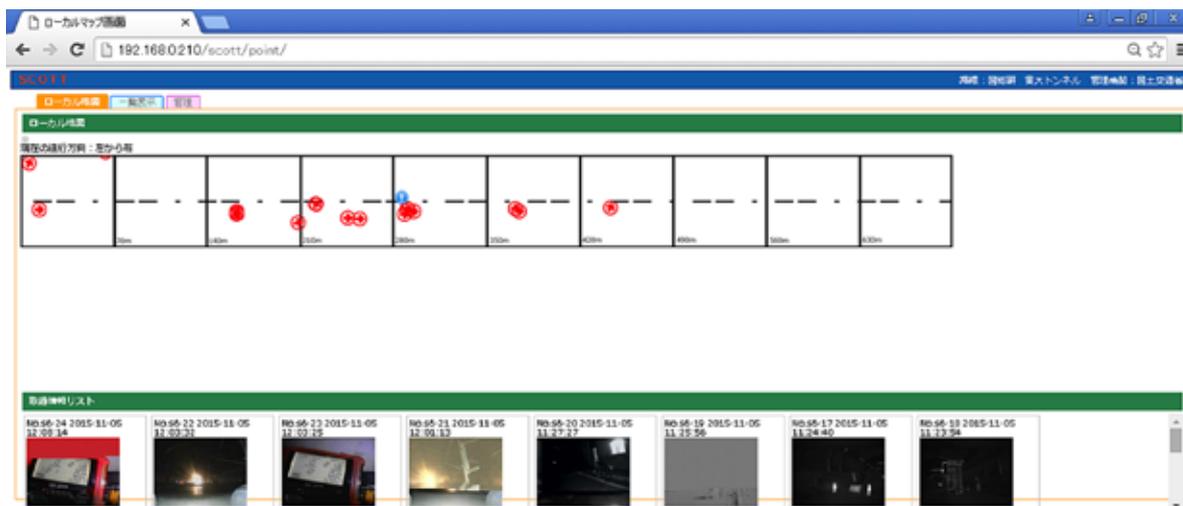


図4 ローカルGIS画面：取得情報一覧表示

ローカルGIS上に表示されたロボット情報ウィンドウにある「レポート作成」ボタンにより、予め設定したテンプレートに沿ったレポート（PDFファイル）が生成されることを確認した（図5）。また、テキスト入力機能も正常に動作していることも確認した。予めエクセルで作成されたテンプレートに、写真や自己位置、センサ値などが記載されている。また、下半分には、トンネル図面にロボットの自己位置がプロットされている。また、右欄には、その場で記載したテキスト内容が記載されている。

自動レポートで作成されたレポートに示されるトンネル地図が、想定より大きい場合や、ロボットの位置がわかりにくい（トンネルの地図にトンネル入り口からの距離が書いていないなど）などの不備があったが、地図の更新やレポートのテンプレートの更新機能を備え付けたことで、その場でトンネルの地図を修正し反映することができた。

操作用ロボットのカメラ方位について、大局的な方位については合っていることを確認した（例えば、ロボッ

トの進行方向が逆になった時、ローカルGIS上に示されるカメラの向きを示す矢印も反転)。しかし、作成したレポート上では反映されなかった。また、正確な方位を示しているかの確認まではできなかった。

ローカルGIS上で確認できる写真の一部で、上部半分が正常にみられない写真があった。カメラをズームで撮影した時にその事象が発生すると推測される。ただし、どの部分に依存した事象（原因）の切り分けはできていない。SLAMとトンネルの自己位置図との重ね合わせについては、現状では、SLAMで作成された地図をデータベースにアップする機能が実装されていないため、実施できていない。

名称		調査時間		調査者		国土交通省	
ロボットID	s6	取得時刻	2015-11-05 16:26:34		作成時刻	2015-12-21 08:35:01	
写真番号	写真ファイル名	s6-cam4_photo01-20151105-162641.jpg					
	写真番号	14					
撮影単位	点線箇所	-					
	点線割合	-					
	トンネル壁面との距離	距離値					
	横方向 (cm)	-666					
	縦方向 (cm)	-259					
縦方向 (cm)	-						
壁の傾斜	-						
判定区分	-						
CO2濃度(ppm)	1070						
ガス濃度 (ppm)	0						
湿度(%)	9.6						
トンネル壁面・異物箇所写真位置図							

図5 調査レポート例

#### 4. まとめ

本報告では、2015年11月5日に実施した現場検証実験において技術要件の一つである可燃性ガス濃度測定の検証結果及び提案する調査ロボットシステムの特徴である調査レポート自動作成機能について述べた。

今後は、今回の実験で顕在化した技術課題について解決策を検討し、ロボットによる調査報告システムの実用化を目指す。

#### 参考文献

- 1) 次世代社会インフラ用ロボット技術・ロボットシステム～現場実証ポータルサイト～, <http://www.c-robotech.info/>
- 2) 鈴木他4名, 受動適応クローラロボットによる 災害調査システム: トンネル災害調査現場検証実験報告, 第33回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2015) 講演概要集, Paper No. 3K1-02, 2015.
- 3) ARGOS Challenge, <http://www.argos-challenge.com/> (2016年5月3日アクセス)
- 4) S. Kohlbrecher, et al., "A Flexible and Scalable SLAM System with Full 3D Motion Estimation," Proc. the 9th IEEE International Symposium on Safety, Security and Rescue Robotics, pp. 155-160, 2011.