

## 8. 屋内GIS動的生成システムを活用した企業防災支援

奥川雅之・山本義幸・小林広幸

### 1. はじめに

大規模な地震が発生した際、被災者が公的支援を受ける際、自治体から罹災証明書の提出を求められる。具体的な被災者への支援内容は、この罹災証明書に記されている被害程度を根拠に決定される。その被害程度は、建物の被害を認定する建物被害認定調査によって決定される。製造業の多い中部地区では、震災後、早期の生産再開が望まれるため、迅速な調査および認定作業が望まれている<sup>1)</sup>。そこで本研究では、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（建物被害認定等）に対して、ロボット技術の利用を検討している。ロボット技術の導入により、調査の自動化及び定量的な判定が期待される。災害発生後、建物被害に対して、ロボットによる客観的な判定が可能になれば、早期の操業再開とともに、公平な判定の実現に繋がるものと考えられる。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。例えば、橋梁やトンネル等の社会インフラの調査点検等が挙げられる。調査ロボットシステムを提供する調査会社あるいはコンサルティング会社としても調査対象が多岐にわたるほど、ビジネスモデルとして成立するものと考えている。

今年度は、工場建屋内での調査を想定し、ロボットにより取得されたカメラ映像やセンサデータを動的にローカル地図上へマッピングする屋内GISを実現するために、システム構成の検討および基本システムの構築を行うこととした。本報告では、屋内GISの研究動向、構築したシステムについて述べるとともに、2015年1月7日に実施された国交省「次世代社会インフラ用ロボット検証実験」の結果について報告する。

### 2. 屋内GISの研究動向

平成19年に制定された「地理空間情報活用推進基本法」にもとづき、経済産業省では、産学官による「地理空間情報活用推進研究会」を設置し、同年、「地理空間情報に関する政策パッケージ」として、「G空間プロジェクト」が開始された。また、高度地理空間情報社会の実現による新産業／サービスを創出するための提言として平成20年に「地理空間情報サービス産業の将来ビジョン」<sup>2)</sup>を発表している。また、「ITとサービスの融合による新市場創出促進事業」のG空間分野にて、屋内空間における位置測位技術に関する基盤技術の構築が推進された。その中で、平成21年度に実施した「3次元地理空間情報データベース実証事業」の結果から、事業者等が所有するCAD図面利用問題点を指摘するとともに、平成22年度には、商業施設や公共機関が公開している簡易な屋内平面図の導入を提案している<sup>3)</sup>。一方、総務省は「G空間シティ構築事業」を展開しており、10の事業を推進している。屋内GISを実現するためには、屋内空間における位置測位が重要な技術となる。屋内測位技術の動向については文献にまとめられており、屋内測位における課題や現状の各測位技術を比較されており、WiFiやBeaconによる測位、デッドレコニング等が挙げられている<sup>4) 5)</sup>。その中で、有望な技術として、JAXAと民間企業の共同開発による衛星測位技術を応用したIMES（Indoor Messaging System）が注目されている。IMESは、GPSと同様の信号を専用の送信機（地上補完装置）から送信し、既存のGPS受信機で受信するものである。屋外および屋内の位置情報をシームレスに取得することができる。ただし、GPS受信機のファームウェアの書き換えが必要である。しかし、多くの測位技術は、固定された基準局（APや送信機）をもとに測位を実現するものである。社会インフラの場合は、工場やオフィス、地下街等では基準局となり得る装置が事前に設置されている可能性もあるが、位置測位に適した装置が設置されているとは限らない。したがって、本研究では、問題の性質上、基準

局となる装置を予め設置しておくことができない環境を想定する必要がある。そこで、本研究では、ロボット自己位置推定方法として、デッドレコニング法およびSLAM (Simultaneous Localization and Mapping) を導入することとした。SLAMとは、自己位置推定と環境地図の作成を同時に行う技術のことである。レーザーレンジセンサー (測域センサ) やカメラ、エンコーダやIMU (Inertial Measurement Unit、慣性計測装置) 等が使われている。

### 3. システム概要

#### 3.1 災害調査ロボットシステム概要

我々の提案するロボットシステムは、民間企業の利用を想定し、社会インフラ等の公共施設／設備 (交通機関やガス、通信設備、上下水道なども含む：将来的には発電所や石油コンビナートへの対応も可能にしたい) や製造業の工場やオフィス等に対して、平常時の点検調査と災害時の被害状況調査を目的としたものである。そのために、「誰でもすぐに調査可能、即座に報告」を目指し、熟練度に依存しないロボットの操作、狭隘／閉所空間での調査、高品質通信の確保を実現し、筆者が開発する受動適応クローラロボット「Scott」<sup>6)</sup> による各種計測／調査／モニタリング結果の取得から調査レポート作成までをワンパッケージで提供するものである。ロボットによる調査システムの基盤技術として、汎用的な利用展開を目指している。一方、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 (DB) 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」の実現を目指している。

以上より、我々は、民間企業が調査ロボット及びシステムを購入及びレンタルすることが可能なロボットシステムの実現を目指すものである。参画企業各社は、現時点で、以下のようなビジネスプランを計画している。

- (1) ロボットの販売・レンタル、設計製作
- (2) 高速道路や一般道の災害調査 (トンネル含)
  - ex. 土砂災害時の生理め車両の把握、交通事故時の毒劇物流出状況把握等
- (3) ロボットを活用した各種調査に関するコンサルティング
  - ex. 企業防災 (特に製造業の施設内調査)、地下空洞調査 (亜炭坑、防空壕跡等)
- (4) ロボット／通信プラットフォームとして事業展開
  - ex. ライブラリ／サンプルプログラムの提供、パッケージ化

#### 3.2 屋内GISの基本システム構成

本システムは、被災した工場やオフィス内、社会インフラの中でもトンネル災害を想定し、調査ロボットが収集した情報およびその位置情報をローカル地図上にプロットすることで、災害発生箇所を視覚的に捉えることを目的とする。また、インターネットが利用できる場合とできない場合のどちらにも対応できるようクラウドサーバおよびローカルサーバにおいて本アプリケーションの構築を行った。なお、本アプリケーションは、クライアントPC環境の依存性をできるだけ排除するために、WEBアプリケーションとして構築し、サーバ環境及びアプリケーション環境についてもオープンソースを利用し構築するものとした。図1および表1にシステム構成を示す。

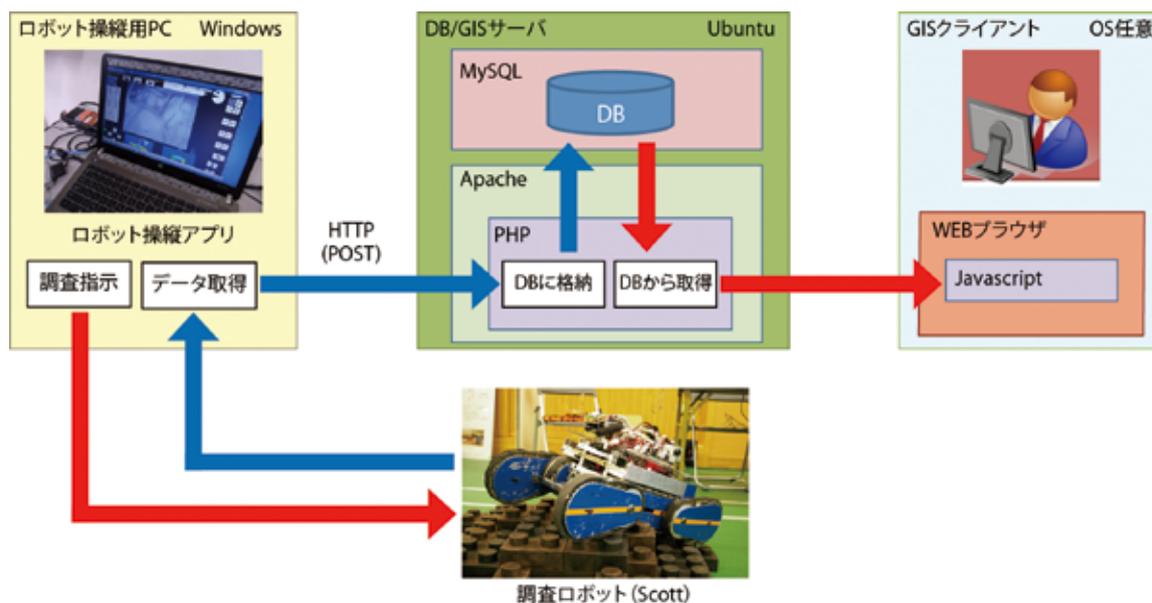


図1 屋内GISシステム構成図

表1 アプリケーション構成

DB/GISサーバ		
OS	Ubuntu	オープンソースオペレーティングシステム
WEBサーバ	Apache	WEBサーバアプリケーション
	PHP	サーバサイド汎用スクリプト
データベース	MySQL	データ格納用データベースシステム
GISクライアント		
スクリプト	JavaScript	クライアントサイドスクリプト

#### 4. 現場検証実験

構築したシステムを用いて、平成27年1月7日につくば市にある国土技術政策総合研究所内にある全長700mの模擬トンネル施設にて動作検証実験を実施した。構築したシステムを利用して、操作用PCからロボットによって取得した情報が送信され、正常にDB/GISサーバ内データベースに格納されることを確認した。また、格納された情報がクライアントPCのWEBブラウザ上で閲覧できることを確認した。

操作PCから送信される座標データ（緯度経度）をもとに、ローカルマップ上の意図する位置にアイコンがプロットされることを確認した（図2）。今回は、自己位置推定プログラムの実装が間に合わなかったため、Google Maps機能で取得した値を用いた。

今回は、デスクトップ型サーバとクラウドサーバの両方を試した。デスクトップ型サーバは、外部電源容量の不足が原因でサーバ自体の電源が入らなかったため検証することができなかった。クラウドサーバは、調査ロボットの操作PCからモバイルWiFiルータを経由しインターネットに接続する予定であった。しかし、デフォルトゲートウェイの設定に問題があり、リアルタイムでの送信を断念した。その打開策とし、調査ロボットがデータを収集した後、トンネルの中でモバイルWiFiルータを経由し、インターネットに再接続することでローカルGISシステムの検証を行った。

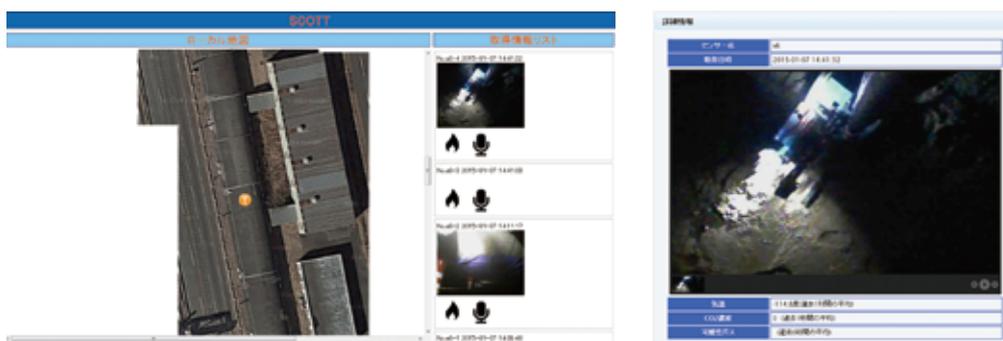


図2 左：ローカルマップ画面、右：詳細情報画面

一方、現地にて、SLAMによる環境地図の作成を試みた。ROSベースのHector SLAMを用いた<sup>7)</sup>。SLAMシステムの動作検証は、「0～200m」区間、「ステージ1」区間および「ステージ2」区間にて行った。搭載した測域センサ（UST-20LX、北陽電機）により、10mトンネル幅に対してSLAMが可能であることを確認した。結果を図10に示す。0～200m区間では、ロボットが2カ所で旋回した際、LRFのデータに不具合（反射がない）が発生した。ステージ1区間で取得したデータから、ローリングタワーの場所が確認された。ステージ2区間では、前述したように、通信障害があり、測域センサとの通信に遅延が生じたため、地図の生成がうまくいかなかった。その後、原因を確認したところ、レーザーレンジファインダの測定範囲を制約していたことが問題であったことが判明した。測定範囲を270度にすることで、地図の作成に成功した。また、移動軌跡の出力も可能となった。

## 5. まとめ

本報告では、屋内GISの研究動向および構築したシステムのコンセプトおよび概要を紹介するとともに、模擬トンネル施設において実施した動作検証実験の結果について述べた。基本システムの構築は済んだが、ロボットの位置推定方法、さらには、ロボットによって取得した情報とGISとの関係および表示方法については、今後の課題として残された。

### 参考文献

- 1) M. Okugawa: Utilization of Robot Technology for Earthquake, Storm and Flood Disaster Problems in Tokai Region, Journal Robotics and mechatronics, Vol.26, No.4, pp.454-459, 2014.8.
- 2) 経産省：地理空間情報サービス産業の将来ビジョン，2008.
- 3) 経産省：平成22年度ITとサービスの融合による新市場創出促進事業，地理・空間情報基盤活用サービス実証事業に関する報告書，2011.
- 4) 中尾浩一：屋内測位技術の動向について，OGI Technical Reports, Vol.22, pp.47-52, 2014.
- 5) 吉澤菜津子，遠藤貴裕，永見健一：屋内位置情報における推定技術の開発と新しいサービスの展開について，Intec Technical Journal, No. 13, pp. 44-51, 2013.
- 6) 神武直彦：衛星測位技術の利用と普及 ～準天頂衛星を利用したリアルタイム防災システムと屋内測位方式IMESの紹介～，航空と宇宙，No.700, pp.19-29, 2012.
- 7) S. Kohlbrecher, O. V. Stryk, J. Meyer and U. Klingauf: A Flexible and Scalable SLAM System with Full 3D Motion Estimation, Proceedings of the 9th IEEE International Symposium on Safety, Security and Rescue Robotics (SSRR2011) , pp.155-160, 2011.