

# 呉海軍地下壕のロボットでの探査とそのPR

呉工業高等専門学校 専攻科2年 元木 太河  
鈴木 康平  
土井 拓斗  
新吉 喬彬  
福永 隼人  
山本 光

## 目次

### ■ プロジェクト提出時の構想

1. はじめに
2. 地下壕未解明区域の探索について
3. 探索ロボットの制作
4. 地下壕の探索
5. 呉市に提出した費用内訳概要
6. 事業予定
7. 事業成果の活用方法についての検討

### ■ プロジェクト実行段階での成果

1. ロボットの制作に関して
2. 地下壕の探査報告
3. 事業成果の活用について

## ■ プロジェクト提出時の構想

### 1. はじめに

本プロジェクトの目的は呉海軍地下壕の調査とPRである。呉市は旧軍港四市の一つであり、歴史的建造物や品々の展示を観光資源としている。呉海軍地下壕もその一つであり、海上自衛隊カレーフェス等のイベント時に一般にも公開されている。

数年前から呉市・海上自衛隊呉基地・広島工業大学・呉高専が連携して調査とPRを行っており、第一地下壕においては全体の7割程度が調査済みである。対して第二地下壕についてはいまだ調査が行われておらず、第一地下壕についても残り3割についてはガス・崩落の危険から十分に調査が行われていない現状がある。そこで、調査ロボットを制作し、区画を調査、その過程や結果をSNS等を通じて発表する。ロボットによる地下壕の探査は全国的にみても前例がない。そこで設計・制作から実験・探査までの一連の流れを一つのコンテンツとして発信し、近隣住民のみならず多くの人に見て、楽しんでいただくことで呉海軍地下壕については呉市のPRを行う。これにより、一層安全かつ魅力的な呉海軍地下壕を多方面にPRすることが出来、呉市の観光分野に貢献できるものと考えている。また、制作したロボットの展示や操縦体験も考えている。

### 2. 地下壕未解明区域の探索について

本年の探索目標は第一地下壕の未探索区域を考えている。第一地下壕は既に大部分の探索が行われており、内部の状態がある程度予想できるためである。

### 3. 探索ロボットの制作

図1に示す探索用のロボットを制作する。

探索用ロボットは機械的には大きく二つの機構に分けられる。重機のような履帯を持つ足回りと計測器を保持する機構である。

ロボットが走行する地下壕内部の床面は主に砂、砂利を主とする不整地であると考えられる。そこで、チェーンを用いた履帯を足回りに使用する。加えてサスペンション機構も戦車・重機のを参考に設計を行った。設計での想定では150mm程度の段差であれば乗り越えることが出来ると考えている。

計測器はロボットの映り込みを防止するためにロボット上部に設置する必要があるが、狭隘な場所を通過する際、あるいは階段などの低重心が求められる際には、計測器が機体の動作の邪魔になるため、機体内部に計測器を格納できるような保持機構を設計した。

各機構は12Vの電源で動作し、それらの制御はロボットに搭載するワンボードコンピュータ(RaspberryPi)で行う。地下壕内部は電波が届きにくい場所であるため、我々とロボット間の通信はLANケーブルを介して行う。今回は50mのLANケーブルを用意しており、およそLANケーブルの届く範囲でロボットを稼働させることが出来る。

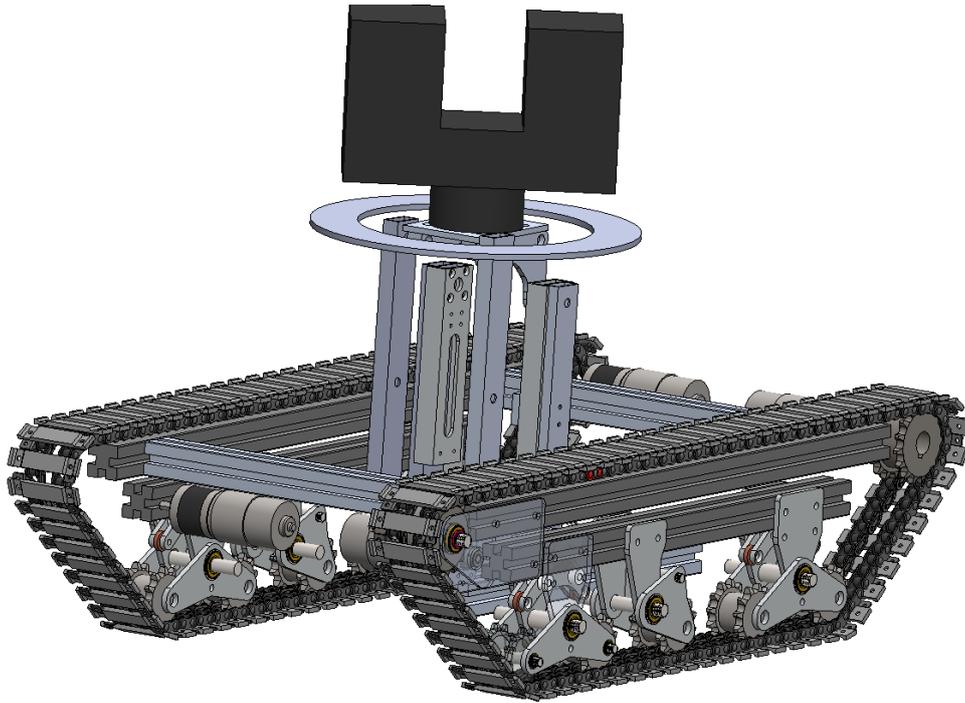


図 1：探索用ロボットの CAD 図

#### 4. 地下壕の探索

内部の壁面の画像、動画の取得 ・ 温湿度、ガス等の計測 ・ 2D マップの作成 ・ 3D 点群計測地下壕を探索し、ロボットに接続した様々なセンサにより地下壕内部の情報を取得したいと考えている。探索時には既に第一地下壕の 3D 計測で実績のある 3D スキャナ「FARO X130 (呉高専保有)」を用いる予定である。また 3D スキャナが使用できない場合には 360 度カメラでの地下壕内の撮影を考えている。

#### 5. 呉市に提出した費用内訳概要

表 1 に呉市に提出した制作・探査にかかる費用の内訳を示す。合計 50 万円のうち、そのほとんどはロボットの制作費用である。

表1：ロボット制作・探査にかかる費用内訳概要

支出費目	予算額 (円)	内容
<b>【機械部品】</b>		
Xアルミフレーム	¥50,000	ロボット足回り
タッチメント付ローラチェーン -アタッチメント片側タイプ-	¥32,000	ロボット足回り
ダブルピッチスプロケット	¥20,000	ロボットフレーム
鉄丸棒	¥10,000	構造材料
小型DCギヤードモータ RS-775GM049	¥80,000	DCモーター
DCギヤードモータ 12V +エンコーダ	¥65,000	DCモーター
AMT102-V	¥60,000	ロータリーエンコーダ
<b>【電子部品】</b>		
USB2.0延長ケーブル	¥40,000	PCとロボットの接続に使用
電子基板部品代	¥60,000	ロボット部品
JETSON NANO	¥50,000	制御用半導体
SainSmart IMX219	¥7,000	カメラセンサー
気圧温湿度複合9軸センサ	¥7,000	センサー
PR用広告印刷代	¥10,000	
報告書作成用用紙	¥9,000	
<b>支出合計</b>	<b>¥500,000</b>	

## 6. 事業予定

4月～6月：機械設計・電気設計、部品発注

今回のプロジェクトでは予算的な面から複数のロボットを作成することはできない。そのため、3DCAD と地下壕の点群データを用いて、機械設計の妥当性の検証を行いたいと考えている。また電気回路についても呉高専で使用しているソフトのシミュレーション機能を用いて検証を行いたいと考えている。また全工程で SNS での発信を行いたいと考えている。

7月～8月：機械部品・電気回路制作

上記で検討した機械・電気部品を制作する。制作には呉高専の加工機を用いる。

9月～10月：地下壕の探索・解析

制作したロボットを用いて地下壕を探索する。その際ロボットに装着したセンサや 3D スキャナにより地下壕の状態を詳細に取得する。また、3D スキャナで取得した点群データから地下壕の立体的な 3D マップを作成し、VR で内部が体験できるようにする。点群データは一般に公開できるような方策を考える予定である。

11月～：報告書・PR作成・夢プロ発表

地下壕で取得したデータと専門的な知見を突合せ、現在の地下壕のコンクリートなどの構造部材の状態を考察する。

成果物を学生の夢実現プロジェクト発表会で報告する。

#### 7. 事業成果の活用方法についての検討

本プロジェクトにより、地下壕内部の状態について調査を行うことができ、内部の状況を知ることが可能となる。そのため、取得したデータを用いて内部状況のPR動画を作成、公開することで呉市のPRとなることが考えられる。また、内部状況によっては立ち入ることが可能である。そのため、一般公開することで、新たな観光資源として活用することができ、呉市の観光産業の活性化に一役買うことができると考えられる。

## ■ プロジェクト実行段階での成果

### 1. ロボットの制作に関して

令和2年秋ごろに本プロジェクトは採択され、助成金を頂き、実機の制作を開始した。呉高专では今年度、コロナ禍の影響もあり学内での活動が大きく制限されたこともあり、当初提出した事業予定からは大きく遅延してしまったものの、令和3年3月初頭に探査機の制作が完了した。下に示す画像は完成したロボットの全景である。

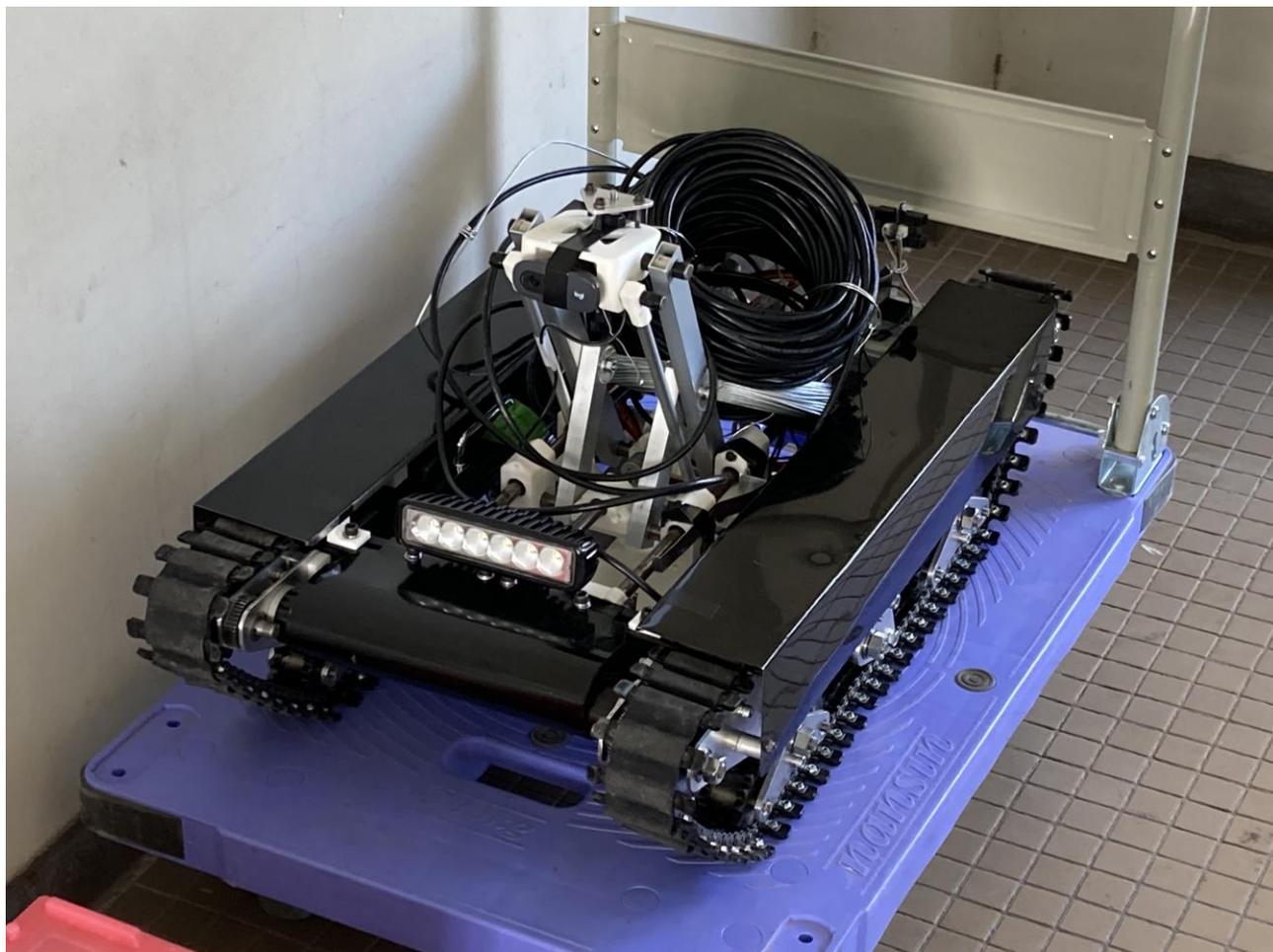


図2 制作したロボットの全景

製作段階では SNS (Twitter ユーザー名@tikago15) を通じて、活動内容の PR を行った。製作段階のツイート (図3) で最も伸びた (閲覧数が多かった) ツイートはインプレッションが 10000 を超えている。これはおよそ 1 万のユーザーに見ていただいたといえ、PR としてはある程度効果があったのではないかと考えている。

また Twitter では制作状況だけでなく、試走や実験の状況などのツイートも行い、こちらもある程度の反応を頂いた。(図4)



図3 最も閲覧数の多かったツイート



図4 Twitterでの投稿の様子

制作に使用した部品とその金額についてはおよそ構想段階での内訳概要と同様であるが、詳細については添付の予算表を参照されたい。

## 2. 地下壕の探査報告

令和3年3月11日に呉海上自衛隊の協力・立ち合いのもと呉海軍地下壕（第一地下壕）深部の調査を行った。当初の予定では、3D スキャナをロボットに搭載しての調査を行う予定であったが、3D スキャナに機材的なトラブルがあったため、360° カメラでの調査となった。下に示す画像（図5～7）は、調査の状況、調査対象部入口に設置したロボットと上部に搭載した360° カメラを撮影した画像、調査中のロボットの360° カメラから撮影した画像である



図5 調査の状況（中央の人物の足元に調査対象部の入口がある）



図6 調査対象部入口とロボット



図7 360°カメラによって撮影された画像(右側が進行方向)

調査では、調査対象部入口からしばらく前進し、内部の状況を360°カメラを用いて撮影した。

その後、自走して調査部から脱出する予定であったが、ロボットの足回りが動作を停止し復旧できなかったため、機体に付けた命綱を用いて回収した。ロボットが動作を停止した原因としては、調査部の地質がこれまで探査が行われた地下壕の路面と大きく異なり、水分の多い泥のような地質だったことが挙げられる。履帯に泥が大量に付着したことで機

械的な抵抗が増大し、電気系に過剰な負荷を与えたことで電気系が破損、停止したと回収後の調査で判明した。

本プロジェクトではこれまでに探査が行われた地下壕の路面を参考に、ある程度硬い路面、若干の不整地、人工的な段差を対象として探査機の設計を行った。この方針については誤りではなかったと考えているが、地下壕という特殊な環境の路面に対する考慮が十分ではなかったという点は今回の調査で得られた反省点であり、今後のロボットの要改善点であると考えている。

また、泥のような路面に対しては改善点があると判明したが、乾燥状態、あるいは少し湿った硬い地面での走破性は実験から確認されているため、今後、通路がしっかりしている箇所での探査などを継続して行えたらと考えている。

### 3. 事業成果の活用について

今回の調査は3月11日に行われたため、現在までに判明したことは少ないが、対象部の通路前方が水没していることが確認された。それ以外の情報に関しては現在精査中であるが、対象通路はこれまで詳細な状況が判明していなかったため、今回の調査によって得られた動画・画像から新たな情報が得られることを期待している。新たに判明した情報がある場合はTwitterを通じて発信することを考えている。

またロボット本体については次年度の学生に引き継ぐことが決定しており、次年度でも新たな箇所の探査で利用することが検討されている。

### 4. おわりに

本プロジェクトでは、プロジェクト資金を援助いただいた呉市をはじめ、地下壕の調査に協力していただいた呉海上自衛隊の皆様など多くの方々にご協力いただきました。記して御礼申し上げます。