

平成 17 年度戦略的基盤技術力強化事業  
研究開発成果報告概要

事業管理法人名 (代表者氏名)	(財)北九州産業学術推進機構 (理事 阿南 惟正)	所在地	〒808-0135 北九州市若松区ひびきの2 - 1 (Tel:093-695-3006)		
技術分野	ロボット部部分野	技術区分	アクチュエータ 関連技術他	研究開発課題	ユニット化関連技術
テーマ名	下水道管渠検査ロボットに関する研究開発			研究開発期間	平成 17 年 4 月 1 日 ~ 平成 18 年 2 月 28 日

1. 委託業務の概要

下水道管渠検査ロボットの部品開発を主目的に、種々の機能(電源、センサ、モータコントローラなど)を搭載した小型ロボットを開発するための小型基板の開発、ロボットの位置把握、障害物検知のための 2D レーザの開発、ケーブルによる通信が不可能な場所での通信を可能にする光通信技術を開発する。

2. 技術目標値

下水道管渠検査ロボットとしての最終的な目標値

- A 検査速度 15cm/sec
- B 距離認識 3 次元モデル
- C 画像キャプチャフレーム数を 3 から 30 フレーム / 秒にあげる
- D オートチューニング追加
- E 型式試験仕様書作成
- F 通信速度 10Mbps・距離 80m
- H .総合評価試験

製作したロボットを下水道検査ロボットメーカー、ユーザ(自治体、検査会社)に対してデモを行い、販売先を探索するため、下記の総合評価試験を実施する。

- ・検査速度：15cm/sec (ロボットの設置や取り出しなどの時間は除く。)(H )
- ・下水道管渠検査コスト：  
75 円/m ~ 226 円/m(H )
- ・既存ロボットの最高 10 倍の検査距離 (300m/日 1km/日から 3km/日(H )
- ・ロボットの原価コスト：500 万円 (1,500 万円/台から 2,000 万円/台 500 万円/台)(H )
- ・外形寸法：管径 200mm-300mm の管内走行を可能(H )

I. 事業化目標

製作したロボットを下水道検査ロボットメーカー、ユーザ(自治体、検査会社)に対してデモを行い、販売先を探索する。

### 3. 目標値を達成するための解決策と具体的方法

#### (1) ロボットシステムの試作評価

ロボットを3台(命綱付き1台、命綱兼通信ケーブル付き2台)試作する。ロボット本体の材質を変更し、耐防水、耐環境型にする。エンコーダと赤外線センサを用いたナビゲーションシステムを開発する。バッテリーシステムに保護回路を追加し、信頼性を向上させる。モータ容量を検討し、走行速度15cm/secを実現し、走行距離(1km/日から3km/日)の目標をクリアするとともに、省電力化も図る。展示会等に出展し、検査会社、自治体の評価を得る。フィールドテストを実施し、ロボットの信頼性評価を行う。

#### (2) 下水道管渠欠陥認知の試作評価

欠陥認知のアルゴリズムを開発し、ソフトウェアを製作する。ステレオカメラを開発し、3次元モデリングのソフトウェアを製作する。距離データが認識できる3次元モデリングを提示する。

#### (3) 制御装置の試作評価

撮影した映像をHD、通信にて地上パソコンへ送信するため、画像の更なる圧縮を行う。(3フレーム/秒から30フレーム/秒)通信速度もFPGAの高速化処理を考慮した設計を行う。

#### (4) レーザースキャナの試作評価

レーザースキャナにオートチューニング機能を追加し高精度化を図る。通信I/Fを検討する。高機能化を図り、データ処理機能(ナビゲーション)を追加する。

#### (5) 製品要求仕様纏め

事業化のために製作したロボットを下水道検査ロボットメーカー、ユーザ(自治体、検査会社)に対してデモを行い、販売先を探索する。

市場要求度を把握するため、ユーザ(自治体、検査会社)からヒアリングを行い、課題を抽出する。事業化体制確立のため、ロボット製作メーカーを探索する。

ロボットの品質を強化するため、15年度の要求仕様、16年度の信頼性評価から型式試験仕様書を作成する。ロボット本体、センサー、ソフトなどの品質を向上させる。

#### (6) 地下通信システムの試作評価

ノイズ除去の通信制御方式を検討し、試作テストを行う。高速長距離化に対しては、回路構成、変調方式を変え絞込みを行う。

ノイズ除去方法の案としては、データの前後にヘッダー、フッターを付け信号とノイズを区別する方法や、送信データが無い時もダミー信号を送信し受信機のゲインを常に最適な状態にする等の方法で98%以上のノイズは除去できそうである。

高速長距離化については、アンプ回路の工夫、またはキャリアを含む変調方式を採用することによって、速度:10Mbps、通信距離:80m以上を目標とする。

#### (7) 総合評価試験

検査速度：15cm/sec

検査コスト：75円/m～226円/m

検査距離：1km/日から3km/日

ロボットコスト：500万円

外形寸法：200mm-300mmの管内走行を可能。

#### 4. 当該年度における技術目標値の達成状況と意義

##### (1) ロボットシステムの試作評価

###### 第1章 ロボットプロトタイプの試作

プロトタイプを3台(命綱付1台、命綱兼通信ケーブル付2台)を試作した。耐環境性を考慮し、アルミ製で試作した。また、耐防水設計を施した。バッテリーシステムに保護回路を実装し、信頼性を向上させた。走行速度15cm/secを実現した。下水道展、国際ロボット展などの展示会に出展し、検査会社、自治体、検査ロボットメーカーから高い評価を頂いた。

###### 第2章 ロボット運転監視画面の試作

オンライン欠陥認知システムを統合したロボット運転監視画面を試作した。これにより、ロボットの操作監視及び、管渠検査を一元管理することが出来るようになった。

##### (2) 下水道管渠欠陥認知の試作評価

###### 第1章 欠陥認知アルゴリズム

欠陥4項目(腐食、たるみ、突き出し、油脂付着)を新たに評価し、追加4項目を含めた検査に必要な欠陥10項目全てを提案アルゴリズムによって認知できることを確認した。さらに、本アルゴリズムに基づいて、欠陥認知ソフトを製作した。

###### 第2章 ステレオマッチングアルゴリズム

平成16年度に提案したアルゴリズム(Coop)で更に処理時間の短縮と精度の向上を実現した。従来の手法(SSD, 相関)より処理時間が短く、画像全体に対する距離データの誤差も少ない新しいアルゴリズムにより、3次元モデルが可能となった。

###### 第3章 3次元モデリングソフト

管内の2次元画像を3次元表示するソフトウェアを開発した。

### ( 3 ) 制御装置の試作評価

#### 第 1 章 CPU ボード

CPU ボードのサイズを更に縮小し、ハードディスク I/F、NTSC ビデオ入力回路、通信ポート (USB, LAN, RS232C) 以外に画像圧縮デバイスを搭載した。これにより 3 フレームから 30 フレーム / 秒となり、データ量も 250 K バイトから 8 K バイトとなった。通信速度も 10 Mbps を達成した。

#### 第 2 章 モーターコントローラーボード

PWM モーター制御、LED 照明のドライバ関連と電流、電圧モニタ回路の改善を行った。コントローラーボードに CPU を搭載し、CPU ボードからの通信指令による高速化を行った。

#### 第 3 章 マザーボード

CPU ボード、モーターコントロールボード、その他のロボット搭載部品をすべてマザーボードで受けると、DC/DC の電源効率を上げるために DC/DC 回路そのものをボード上に配置した。

### ( 4 ) レーザースキャナの試作評価

#### 第 1 章 レーザースキャナの高精度化

レーザースキャナの高精度化を図るために以下の改造を実施した。まず、受光強度に対するダイナミックレンジを増大させるため、位置検出素子の検出信号レベルを一定に制御するオートチューニング機能を追加した。また、異常反射による測定値シフトを改善するため、受光素子をイメージ素子 (CCD) 方式へ変更し、ビーム入射点以外の反射光は影響を排除できた。

#### 第 2 章 通信 I/F の検討

データ量の増大、取り扱い易さの向上のために、通信 I/F を検討した。従来の CAN 通信 (1 Mbps) に加えて、PC との親和性を考慮して USB1.1 (12 Mbps) の通信 I/F を開発した。また、単体モジュールとしての操作性向上や用途を拡大させるため、OS は Windows と Linux に対応したドライバソフトウェアと簡易 GUI ソフトウェアを開発した。

#### 第 3 章 データ処理機能 (ナビゲーション) の追加

インテリジェントセンサとして高機能化を図るため、データ処理機能 (ナビゲーション) を追加した。計測した管渠のデータからマンホール、取り付け管、合流地点などをセンサ自身で判定できるようになった。

## ( 5 ) 製品要求仕様纏め

### 第 1 章 JIS 規格調査

ロボットの信頼性評価、取扱上の安全の面から、下記の JIS 規格の調査を行い、ロボットの試験仕様とした。

振動試験：ロボット衝突時の試験

電子 P196 JIS C0041：環境試験方法 - 電気・電子 - ：衝撃試験方法

レーザ：製造業者、使用者の注意事項

電子 P1451 JIS C6802：レーザ製品の安全基準

防水：ロボットが下水に浸かった時の対応

電気設備 P442 JIS C0920：電機機械器具の防水試験及び固形物進入に対する保護等級

### 第 2 章 型式試験仕様書作成

JIS 規格、ユーザからの要求仕様、信頼評価手法(FMEA、FTA)からロボットの信頼性を向上されるための試験仕様書を作成した。走行、通信、操作などの機能の試験方法、JIS 規格（振動、レーザ、防水）に沿った安全や信頼性試験方法、FMEA から優先順位の高い機能の試験方法など、各方面からの要求を取り入れた仕様書をまとめた。

### 第 3 章 販売先の探索

事業化のために製作したロボットを下水道検査ロボットメーカー、ユーザ（自治体、検査会社）に対して、下水道展でデモを行い、販売先を探索した。

市場要求度を把握するため、下水道展でユーザ(自治体、検査会社)からヒアリングを行い、課題を抽出した。

## ( 6 ) 地下通信システムの試作評価

### 第 1 章 光通信

ロボット内に収納可能な小型のロボット側光通信ユニットとマンホール側の光通信ユニットを製作した。送信信号の先頭にヘッダー信号を付け回路安定時間を確保し、最後にフッター信号を付けることによりノイズとの分離を行った。高速のオペアンプ、可変利得アンプを使用して回路の高速化を図ることにより通信スピード10Mbpsを達成できた。また、マンホール受信側のオートゲインコントロールに加えて、マンホール側からの光強度を検出してロボット側発光LEDの数を段階的に切替えて発光量を調整することにより、目標の距離80m全範囲の通信が可能となった。近距離で発光量を落とすことにより、ロボット側光通信ユニットの消費電流低減の効果も得られた。

### 第 2 章 充電器開発

光通信システムに使用するバッテリーの充電器の製作を行った。単なる充電機能だけでなく、将来のバッテリー選定、使用中のバッテリーの劣化状態が把握できるよう、各種バッテリーに対応可能で、充放電中の電圧、電流グラフを記録する機能を設け、バッテリー性能評価試験機として将来的に利用価値が高く、発展性あるものとした。

## ( 7 ) 総合評価試験

総合評価試験を実施し、下記の通り最終目標値を達成した。

検査速度：15cm/sec

検査コスト：215 円/m

検査距離：1998m/日

ロボットコスト：500 万円

外径寸法：管径 200mm ~ 300mm を走行可能

### 第 1 章 総合試験仕様書まとめ

ロボットのフィールドテストでは、ロボットの機能の他、種々の角度からチェックを行う必要がある。そのため、検査時間（現場の準備、ロボットの設置、調査、片付け）、走行速度、バッテリー、検査コストなどの評価を行うため、コスト計算書を作成した。フィールドテスト時の作業時間、走行速度などを入力することによって検査コストを容易に計算することが可能である。

## 5 . 事業化の目標と当該年度に把握した事業化を取り巻く環境変化

### ( 1 ) 下水道管渠検査ロボットの事業化計画

自治体で試験運用開始

北九州市及び委託検査会社への重点的な働きかけを通じて、更なる使い易さと信頼性のブラッシュアップを図る。

同業他社も含めた協業関係の構築（販売、生産体制の構築）

### ( 2 ) 研究開発担当機関の開発成果をロボット分野以外に基盤機器商品として事業化を進める。

#### ( 2 ) - 1 . 制御基板の事業化計画（九州計測器株）

取扱説明書を整備し、研究、教育用部品として事業化

半導体検査、製造メーカー等に画像センサー付きステージ制御装置として事業化

ダイレクトメール、HP による PR および関連商社の販売網を利用する。

#### ( 2 ) - 2 . 光通信ユニットの事業化計画

光リモコンなどの代理店を通じ、ダイレクトメールの発送を行う

HP、展示会への出展を行う。