

平成 15 年 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	財団法人 北九州産業学術推進機構	代表者名	有馬朗人	所在地	〒808-0135 北九州市若松区ひびきの 2-1 Tel : 093-695-3006
-------------	---------------------	------	------	-----	--

管理番号 15R-15	技術分野 技術区分 技術開発課題 テーマ名 研究開発期間	ロボット部品分野 アクチュエータ関連技術他 ユニット化関連技術 下水道管渠検査ロボットに関する研究開発 平成 15 年 9 月 3 日 ~ 平成 16 年 2 月 27 日
----------------	--	--

## 1. 委託事業実施の背景と委託事業の概要

現在の下水道検査ロボットは電源、信号がケーブルで地上と接続されており、その行動範囲を著しく制限されているとともに、「ひび」の検査しか行う事が出来ない。また、ロボット単体の価格、検査に係る人件費も非常に高額であることから、自治体では、10年間で必要な検査の20%も出来ないのが現状である。

技術区分のアクチュエータ関連技術、センサ関連技術および画像認識関連技術において、次のように技術開発課題を解決することにより、技術を高度化し、次世代ロボットのビジネス化に貢献することができるので、この制度に整合している。

### アクチュエータ関連技術

#### 1. ユニット化技術

電源制御部、モータ制御部、センサ入力処理部、通信処理部の一体化を目指すことで整合していること。

#### 2. 制御性向上技術

下水道管内の自律/半自律型移動ロボットの制御を実現することで整合していること。

### センサ関連技術

#### 1. 小型、軽量化技術

管内検査ロボット用 3D レーザースキャナーの小型化、軽量化を目指すことで整合していること。

#### 2. センサ、信号処理一体化技術

センサをネットワーク接続し、制御装置で信号処理を一体化することで整合していること。

### 画像認識関連技術

#### 1. 認識の高精度化技術

画像データからひびなど管内の欠陥を認知できる技術を開発することで整合していること。

## 2. 委託事業全体の内容と目標

### (1) 技術の内容と新規性、独創性、改善性又は技術基盤強化性

#### 技術の内容

##### 1. 半自律型下水道管渠用ロボット

現在の下水道検査ロボットは電源、信号がケーブルで地上と接続されており、その行動範囲は最大でも 100m に限られ、開始地点に戻る必要もある。通常のカメラで検査する場合は管内の側視を行うためにカメラを回転させる必要があるため、継手を通過するためにロボットは停止する必要がある。また、通常ロボットは下水道管内を曲がって走行できないため、曲がり地点の度にロボットを開始地点から引き揚げて曲がり地点から再挿入する必要がある。これらのため、1日の検査速度は実質 200m~300m、検査のコストも 2000 円/m かかっている。

そこで、本プロジェクトではバッテリーを搭載し、ケーブルを無くしてロボットの行動範囲を広げるとともに、全方位をカバーできるカメラを搭載し、停止せずに側視を可能とする。また、下水管内の曲がりを走行でき、開始地点とは別の地点でロボットを引き揚げる事を可能とする。

##### 2. 電源内蔵型制御装置

従来下水道管渠検査ロボットは地上で操作されるため、電源、ロボットの制御及び操作などは地上より人間によって行われていたため、ロボットに電気品を多数搭載する必要はなかった。しかし、半自律型下水道管渠検査ロボットを開発するためには、ロボット自信に電源、ロボット制御、センサ、通信機能を持たせる必要がある。

これらの課題を解決するため、自律型小型ロボット用のロボットコントローラに適した電源内蔵型制御装置を開発する。これは、1枚もしくは2枚の基板に電源装置、センサ入力、モータコントローラ、モータドライブ、上位通信機能を小型ロボットに適用できるサイズに大胆に集約する。また、本制御装置は下水道管渠検査ロボットの用途に限らず、小型ロボットのオールインワンの制御装置として広く適用されることが期待される。

### 3. 欠陥認識、自己位置認識、障害物回避用 3D レーザースキャナー

地上から操作されるロボットの場合、検査はロボットの TV カメラからの映像を地上で人間の目視で検査を実施しており、ロボットの操作も同様に TV カメラを通して人間によって行われていた。そのため検査は検査する人間の経験による所は非常に大きく、定量的な検査を実施する事が非常に難しく、専門知識と経験を有する、限られた人間しか検査を実施する事ができなかった。また、ロボットの走行距離は主にケーブル長から計算されていたが、ケーブルが伸び縮みするため、約 1%の誤差 (100m 走行すると 1m) を生じ、必ずしも欠陥の箇所は正確ではなかった。

そこで、TV カメラを通して得られる画像、3D レーザースキャナーから得られる形状データを元に客観的に欠陥の項目、欠陥のレベルなどを自動的に判定できるソフトウェアを開発する。画像処理を施してひび、継手部のずれなどの欠陥認識を行う。レーザースキャナーから対象物との距離、角度の抽出などを行い、1cm 以上の管の歪曲を認識する。また、画像、距離データに加え、赤外線センサを用いて、30cm 以内にある断面積 1cm<sup>2</sup> 以上の障害物の探知及び回避を行う。ロボットから 30m 以内の距離を誤差 1cm 以内で測定し、自己位置を認識する。

### 4. アラーム発信用地下通信システム

従来は、地上から人間がロボットを操作しており、ケーブルで繋がれているため、地上で逐一画像情報を得られたので、ロボット及び下水道管内の状態を知る事ができたが、ケーブルなし、自律でロボットが走行すると地上ではロボットの行動及び管内の状態を把握する事ができない。しかし、少なくともロボットは異常或いは故障が発生した場合、地上にいるオペレータにその情報をただちに知らせる必要がある。これは、ロボットの安全のためにも必要である。そこで地下通信システムを開発する。電磁波、音、光、振動など種々の無線通信方法の中から、下水道管内で最も有効な手法を開発する。とくに、電磁波、光を使った無線通信方法については各種実験を行い、その有効性を確認する。赤外線通信で 100Kbps の地下通信システムの有効性を確認する。通信距離 100m 以内で地上へアラーム信号を送信し、データ速度 1pulse/sec を確保する。

## 技術の新規性、独創性、改善性又は技術基盤強化性

### 1. 独創性

自律型/半自律型下水道管渠検査ロボットはまだ実用化されていない。

下水道管内を自律走行するロボットを開発する事は、ドイツ Fraunhofer 協会 AIS 研究所の下水道ロボット研究グループが行っているが、日本では初の試みである。また、自治体の下水道管渠維持管理コストの大幅な削減を目指した下水道管渠検査ロボットを開発する点も従来の検査ロボットのメーカーに出来なかった事である。従来メーカーは 10 数年来、カメラと車輪を備えた機構がケーブルに繋がれ、地上から操作、検査を行う従来技術から現在も脱却できていない。

### 2. 新規性

#### 1) 制御装置

##### ・ 既存技術

多くの制御基板は 1つの基板に 1つだけの機能が備わっている。ロボットには少なくとも 4種類の基板 (電源基板、センサ入力基板、モータ制御基板、通信基板) が必要になる。本システムの様な小型ロボット用途には余りにも大きすぎて機能しない。

- ・ 新規性  
そこで本システムでは4つの機能を1つの基板に集約する事を目指す。このように機能が集約され且つ小型化された制御装置はまだ実用化されていない。通常、小型の自律移動ロボットはカメラ、レーザースキャナー、ジャイロ、傾斜計などの多種多様な入力形態をもつセンサを同時に搭載することがなかった。そのため、これらの入力機能を持つ制御基板が小型ロボットに求められる事はなく、大型のロボットでしか実現されていなかった。各種センサ及び入力機器の搭載、長時間走行できるバッテリーの搭載、画像処理機能を備えた上位PCの搭載、無線通信システムの搭載を小型ロボットではじめて実現する事を目指す。

- ・ 確認場所  
調査した主な制御ボードメーカー： Advantech, PCI Systems, Atmel, Arcom, Diamond Systems, Access IO, Motorola, acrosser, DIGITAL-LOGIC、日立、三菱、姫路ソフトウェアス、(株)マイクロキャッツ、オクス電子(株)。

## 2) レーザースキャナー

- ・ 既存技術  
3D レーザースキャナーはロボットにおいて機能を減らさずにセンサの数を減らすために必要である。市販されている3D レーザースキャナーはサイズ(25cm×25cm×25cm以上)重量(10kg以上)ともに小型ロボットに搭載するにはあまりにも大きすぎ、管内検査などで使用されることは非常に困難であり実現されていない。

- ・ 新規性  
本プロジェクトではより小型化、軽量化されたレーザースキャナーの開発を目指す。開発できれば、世界最小クラス、1kg以下の3Dレーザースキャナーとなる。また、小型の自立型移動ロボットに3Dレーザースキャナーを搭載することも初の試みとなる。

- ・ 確認場所  
レーザースキャナーメーカーを調査した結果、小型3Dレーザースキャナーを保有するメーカーはなかった。また、他の機関でも調査報告がなされている。

(<http://www.pobonline.com/FILES/HTML/PDF/01033d-laser-survey.pdf>)

調査した主な3Dレーザースキャナーメーカー： Riegl社、トリンブル社、Zoller-Frohlich社、3<sup>rd</sup> Tech社、Cyra Technologies社、MENS社、Optech社、浜松ホトニクス、北陽電機、KEYENCE、SHARP、SICK。

## 3) 地下通信システム

- ・ 既存技術

従来の地下通信の技術は低データ速度でのみ地上と通信可能である。本システムにおける地下通信システムでは1[パルス/秒](Ping信号)が必要要件である。

- ・ 新規性

電波による下水道管内の通信方法のテストも実施する。従来の通信方法は有線方式であり、無線方式で下水道管内を通信する事は初めての試みである。

- ・ 確認場所

以下の文献にて調査した。： IEEE Signal Processing Journal、Tracking and Kalman Filtering Made Easy, Eli Brookner、Introduction to Ultra Wideband Radar Systems

また、ドイツ Fraunhofer 協会 AIS 研究所の下水道ロボット研究グループ Joachim Hertzberg 氏、(有)日本テクモ、(株)安川電機らと検討した。以下の下水道管渠検査ロボットメーカーについても通信方法をヒアリングした。： 東京電子工業(株)、BURE-AM Co.,Ltd.、RIGID Kollmann、(株)カンツール、(株)キュー・アイ、(株)住吉製作所、(株)機動技研、応用地質(株)

## (2) 技術目標値

技術目標値

- ・ 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。）
- ・ **下水道管渠検査コスト**：約 1/10（1,500 円/m から 2,000 円/m 75 円/m から 226 円/m）  
（但し、100km/年から 300km/年、下水道管の検査を行った場合の試算。）
- ・ 既存ロボットの最高 10 倍の検査速度（300m/日 1km/日から 3km/日）
- ・ ロボットの原価コスト約 500 万円台  
（1,500 万円/台から 2,000 万円/台 約 500 万円/台）
- ・ 制御外形寸法：管径 200mm-300mm の管内走行を可能

#### 技術目標値の妥当性

##### 研究開発終了後 3 年間で事業化できる根拠

格安で高性能のロボットの登場により、シェアを獲得、また今まで高価で手を出せなかった中小の検査会社にも購入可能な水準に引き下げられ、新たな購買層を獲得。

同時に**下水道管渠検査コスト**も劇的に削減でき、各自治体の下水道管渠維持管理費用の大幅な削減が期待される。

（現状）

国内市場規模 約 50 億円（1999）

ロボットの市場価格 約 1,500 万～2,000 万円/台

**下水道管渠検査コスト** 約 1,500～2,000 円/m

検査速度 200m/日～300m/日

（プロジェクト製品化後）

ロボットの原価コスト 約 500 万/台を目標

**下水道管渠検査コスト** 75 円/m から 226 円/m を目標

（但し、検査を実施する下水道維持管理会社によるコスト上昇分は考慮しない。）

検査速度 1km/日～3km/日を目標

3. 委託事業全体における技術目標値を達成するための課題と解決方法

	1. 半自律型下水道管渠検査ロボット	2. 制御装置	3. 3D レーザースキャナー	4. 地下通信システム
課題	<p>(1) 従来の検査ロボットでは曲がった管内を走行する事が出来ない。</p> <p>(2) 管内の欠陥検査の自動化を目指す。信号処理をする観点からみてノイズの多い環境下で欠陥部分を抽出することは困難である。</p>	<p>(1) 従来の制御基板はモータ制御や信号入出力の機能を分担し、何層にも分かれていた。</p> <p>(2) ノイズ低減と全ての機能を10cm x 10cmの大きさに集約する事で必要。</p>	<p>(1) 従来のレーザースキャナーは大きく、重く、そして高価である。</p>	<p>(1) 自律型ロボットを管内で走行させる場合、現実問題としてロボットが管内で走行不能に陥った場合などでロボットの場所を特定する必要がある。地下を通してデータを送る従来手法では送られるデータ量も僅かである。</p>
その根拠	<p>1) 主な下水道管渠検査ロボットメーカー(株)カンツール、QI、Ka-te、Blackhawk-PASなどは本プロジェクトでの適応対象である管径200~300mmの下水道管内で曲がる事ができるロボットを提供していない。これは、全てのロボットがタイヤを垂直に取り付けられ、長さもあることから、物理的に曲がる事ができないのが要因です。</p> <p>2) 現在の検査方法はロボット使用に関わらず全て専門家の経験により、目視で行</p>	<p>1) 製品化されている制御基板は、ビデオ・キャプチャ、無線通信モータ制御など、1つの目的のために通常設計されています。これは産業用途として、小型ロボットに適用するように小スペースに収納する事を考慮する必要がなかったことに起因します。本プロジェクトで試作される小型ロボット(管径200-300mmの下水道管を走行)では3枚以上の基板を重ねる事はできない。</p> <p>2) 上記の理由から、モータコントローラ機能、</p>	<p>1) トンネル内を検査するために使用されるレーザースキャナーなどは、通常大きな固定レール、あるいはトラック、バンなど乗用車に設置されます。レーザを小さくする必要がない為、安価に製作することが容易です。より小さなレーザースキャナーを作ることに市場性はありませので非常に高価になります。</p>	<p>1) ロボット用のデータ通信とロボットのアラーム信号(Ping)通信を統一する事が望まれます。既存のアラーム信号を送る技術は長波の無線周波数信号を使用しており、データ量が非常に少ないため、画像処理など大量のデータを送受信するのに適さない。</p>

	<p>われている。TVカメラ及びこれまで下水道管渠検査に導入された画像処理技術では実現されていない。</p>	<p>モータドライブ機能、センサ入力機能、通信機能、電源機能などを極力1枚の基板上に集約する事が必要となります。これにより、通常よりもコンポーネント間が非常に接近し、信号ノイズを引き起こすことが予想されます。</p>		
解決方法	<p>(1)我々は以前より、曲がる事ができる新しいロボットの機構を研究しており、この成果を活用する。</p> <p>(2)アドバンスト信号処理技術によってある程度の欠陥認識の目処がついている。最終ユーザーである下水道管渠維持管理会社の高い要求仕様を満たす欠陥認識の実現を目指す。</p>	<p>(1)全ての機能を1つの制御装置へ一体化することを目指す。</p> <p>(2)アドバンスト信号処理とノイズ低減技術により解決する。</p>	<p>(1)下水道管渠検査ロボットに搭載するためにより小型のレーザーキャナを開発を目指す。専用のミラーと光学部品を要す。</p>	<p>(1)これらの手法は本ロボットにも適用できるが、本プロジェクトではより多くのデータ送信が可能な手法を目指す。様々な手法を調査検討する事によって、地上へ送る事が出来る最大データ量を特定する。</p>
その根拠	<p>1)本プロジェクトでは次のうち、どちらかの技術を採用する予定です。この2つの方式は下水道管内で曲がって走行できる事が確認されています。ヘビ状に節で別れた機構 タイヤを水平にとりつけた機構。</p> <p>2)欠陥認知の手法は、特徴抽出用</p>	<p>1)基板が十分に大きい場合に単一の基板上に必要なコンポーネント群をすべて配置できることを理解する。</p> <p>2)高度なレイアウト設計およびシミュレーションを繰り返すことによって、ボード試作する前に、信号層の間に絶縁処理を施</p>	<p>1)現在のレーザー素子は既に小型化されています。レーザーキャナの大きさを占めるミラーとモータを小さくすることで全体を小型化できます。小型化できた場合、レーザーキャナが下水道ロボット以外の他の小型</p>	<p>1)地下通信システムを実現できる幾つかの技術：電波(長波、中波、短波)、光通信などのうち、どの手法が下水道管渠検査ロボットに適しているかを研究する必要があります。</p>

	<p>は、特徴抽出用ウェーブレット変換およびコンボリューショナルニューラル・ネット組合せて使用します。これらの方法により、ノイズデータを除去し、低周波のオブジェクト(管内欠陥)を認知し、特定のカテゴリーに欠陥を分類することを実現します。</p>	<p>に絶縁処理を施すなどの信号ノイズを低減する設計を行います。</p>	<p>ロボット及び自律型移動ロボット(監視ロボットなど)で更に普及が進む事によって、製造原価は著しく減少することが予想されます。</p>	
過去実績	<p>1) ヘビ状のロボットは、ドイツ Fraunhofer 協会 AIS 研究所の下水道ロボット研究グループで既に開発済み。水平に車輪の付いたロボットプロトタイプは、GMD-JRL で既に開発済み。</p> <p>2) 下水道管内のひびを上記の手法を用いて検出する基本技術を開発済み。</p>	<p>1) 全ての機能を集約した基板のシステムを検討しているが、全ての機能はまた盛り込まれていない。また、信号ノイズの解析はまだ実施されていない。全ての機能を盛り込んだ場合のシステムの検討及び設計の後、信号の解析を開始する予定である。</p>	<p>1) 下水道管渠検査ロボットで必要なレーザースキャナー構想及び仕様を検討した。</p>	<p>1) 地下通信システムを実現可能な手法の調査を開始した。主要な4つの手法をさらに調査される予定である。：無線周波数、赤外線通信、超音波、振動。</p>

#### 4. 当該年度における技術目標値の達成の状況と意義（実績）

##### A. ロボットシステム、機構

ロボットの構成部品をロボットシステムに組み込むため、システム構成図を作成し、必要な構成部品をまとめた。また、電源系統図を作成し、バッテリーからの電圧変換、各部品への電源供給の流れをまとめた。このシステムまとめにより、来年作成するロボットシステムが明らかになった。

自立型ロボットを製作するために、段差、カーブを走行可能にする必要がある。そのため、機構の検証を行い、カーブ、段差を走行可能なロボット機構を開発した。これにより、自立型ロボットの第一課題をクリアした。

##### B. 欠陥検出

欠陥検出可能なセンサを選択するため、種々のセンサ調査を行った。その結果、画像処理、超音波、レーザを抽出した。このセンサを使用し、欠陥検出技術を確立することができる可能性ができた。

##### C. 基板

検査ロボットを構築するため、制御、通信などを行う小型 M/C 基板の開発を行った。ノイズ問題、レイアウトの調整をクリアし、プロトタイプロボットに使用できる基板を作成できた。

##### D. レーザ

小型化 3D レーザを開発するため、既存レーザを購入して検討した。外形寸法、測定スピードは目標値に達していない。しかし、ロボットプロトタイプとして使用可能である。小型化を行うため、2D レーザの小型化を行った。レーザの小型は可能になったため、この技術を 3D レーザへの応用を検討する。

##### E. 市場調査

自治体、ロボットユーザのヒアリングにより、現状技術の把握、技術目標が明確になった。検査スピード、検査距離、欠陥検出の困難度などを把握できた。

##### F. 地下通信

映像を送信するため、大容量通信が可能な無線 LAN の地下通信テストを行った。その結果、管渠内では見通し 10m で通信不能となった。この経験から光、レーザなど別の手法を検討する。

#### 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

##### 5.1 事業化の目標

###### 自立型下水道管渠検査ロボット

走行に柔軟な機構、小型化(基板、レーザ)、欠陥検出、無線通信  
特許戦略の計画立案。他社との差別化。品質管理規準の作成。

##### 5.2 環境変化：環境把握

###### 検査ロボットに必要な項目の把握

3つの自治体より、「TV カメラ管渠検査」の発注仕様を入手した。その結果、検査ロボットに必須の項目が明らかになった。

- ・映像の保存
- ・欠陥場所の特定（マンホールからの距離）
- ・欠陥項目のレベル（自治体により異なる）

###### 客先からの開発要求技術

無線通信：検査距離が延長し、コストが下げられるため。

欠陥検出：人により検出結果が異なる。

###### 検査の必要性

大都市は管渠敷設から 30 年以上経過しており、管渠の老朽化が進んでいる。そのため、管渠は更新の時期にきている。道路陥没などの事故件数は、日本で年間千件以上あり、大きな事故を発生させないため、管渠検査を行っている。