

防塵防水無線化ヘビ型ロボットによる配管内検査

亀川 哲志（岡山大学），齊 偉（岡山大学），松野文俊（京都大学）
藤原始史（京都大学），竹森達也（京都大学），奥乃博（早稲田大学）
糸山克寿（東工大），坂東宜昭（産総研），鈴木陽介（金沢大学）



これまでのImPACT TRC での成果

ImPACT TRCへビ型ロボットプラットフォーム (ハイパワータイプ)



全長: 2.0[m]
重量: 約9.0[kg]

電源ユニット

制御用PC

音響センサ用PC



電源&通信
ケーブル

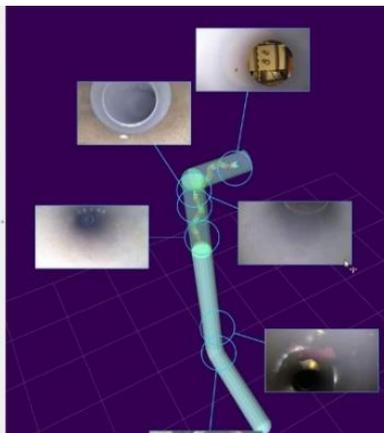
操作用
コントローラ

スピーカー

マイク

カメラ

へビ型ロボット
(圧力測定タイプ)



配管点検のための統合化UI

これまでのImPACT TRC での成果

曲管を含む配管内部の移動
(内径200mm, 全長7m)



複雑な環境にチャレンジ

配管の外部に巻き付いて移動
分岐部分も乗り越える
(100A配管)



角ダクト内部を移動
(断面寸法250mm × 250mm
全長約4m)

すべてクリア

これまでのImPACT TRC での成果

曲管を含む配管内部の移動

複雑な環境にチャレンジ

(内) 移動

もっと過酷な環境での運用の期待

- ・防塵
- ・防水
- ・無線化



(断面寸法250mm×250mm
全長約4m)

すべてクリア

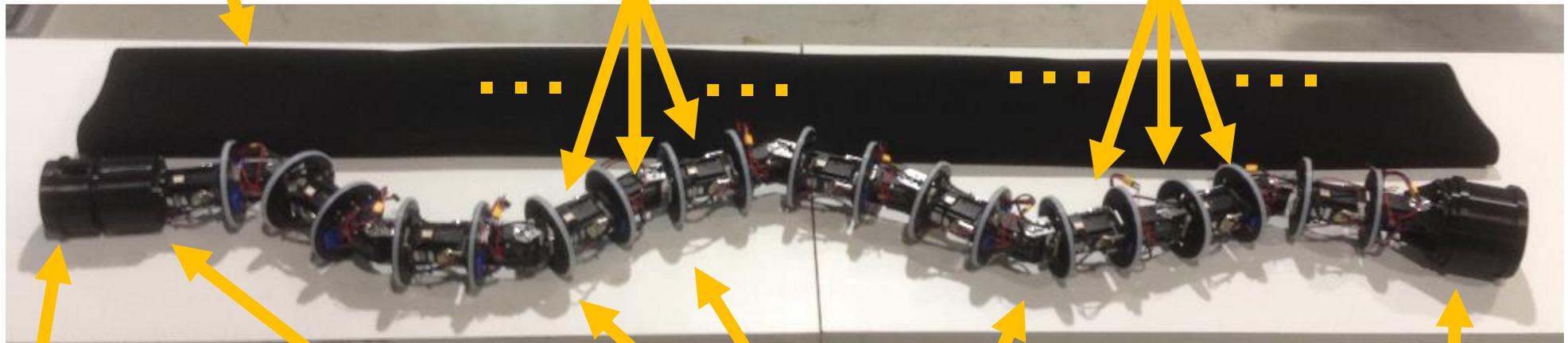
防塵防水無線化へビ型ロボットの構成

全長: 約1.5m
重量: 約10kg

独立気泡のスポンジゴムチューブ

サーボモータ

全周圧力センサ



カメラ (GoPro)

音響センサ (スピーカ)

計算機 (RaspberryPi3)

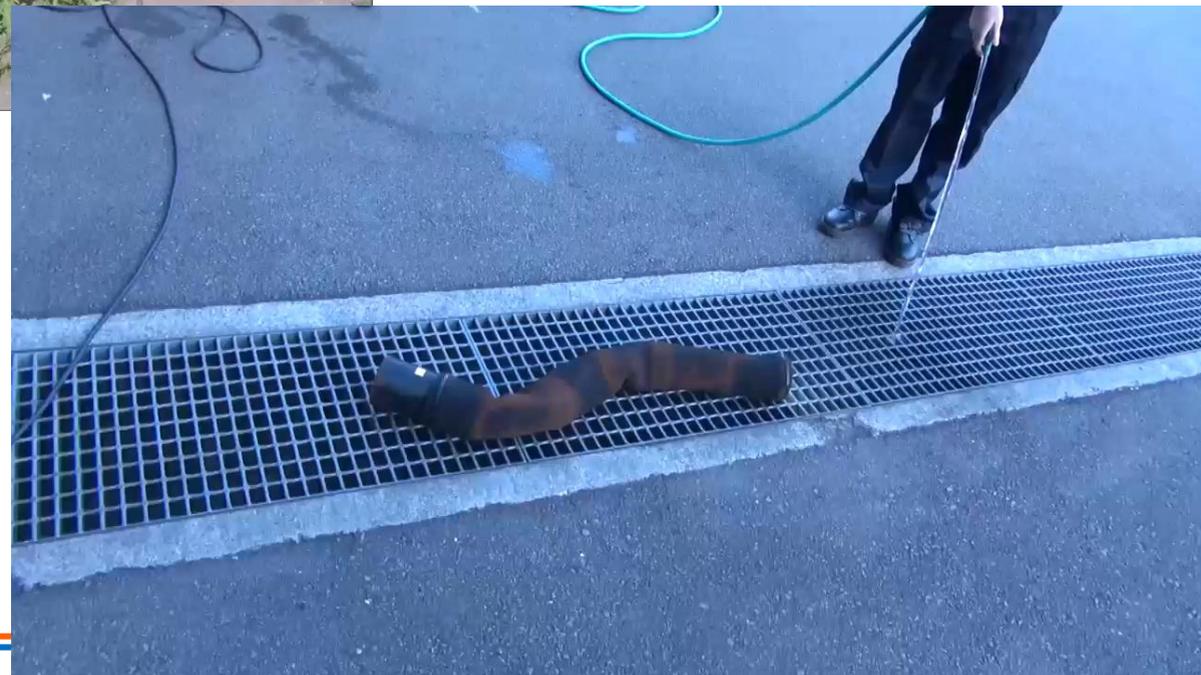
無線LAN

バッテリー (LiPo)

防塵・防水のデモンストレーション



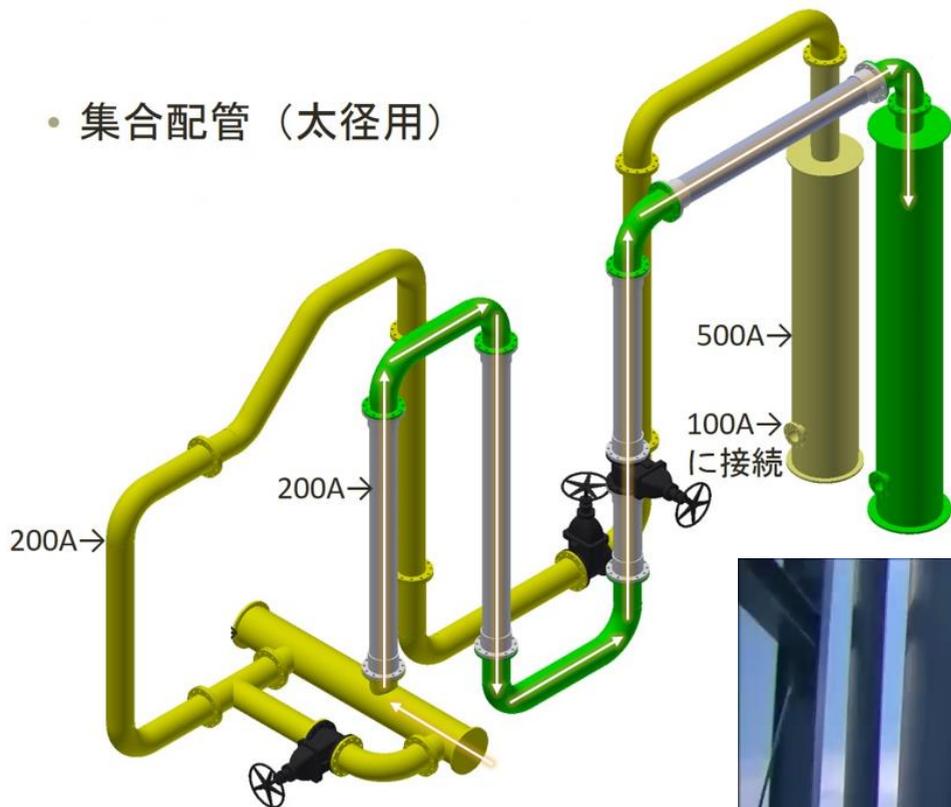
草むらから出現するロボット



汚れたロボットを水洗い

本日の実験配管

- 集合配管（太径用）



経路長 約15m

実験の様子（途中32倍速）



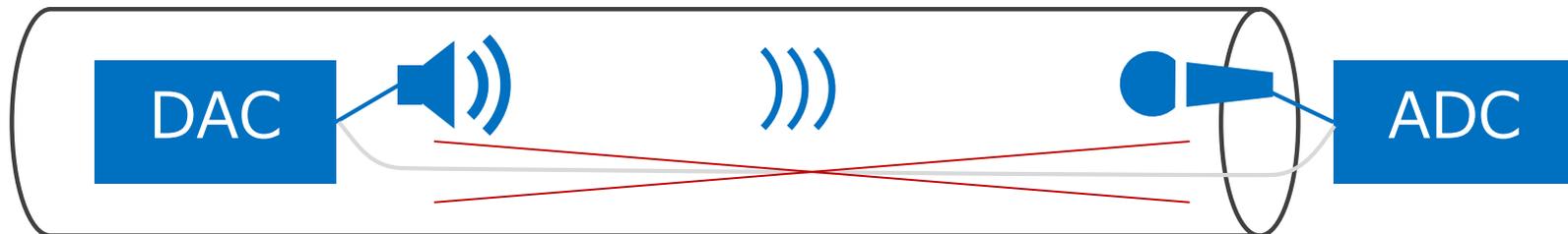
配管内ロボットの 音響センサによる位置測定

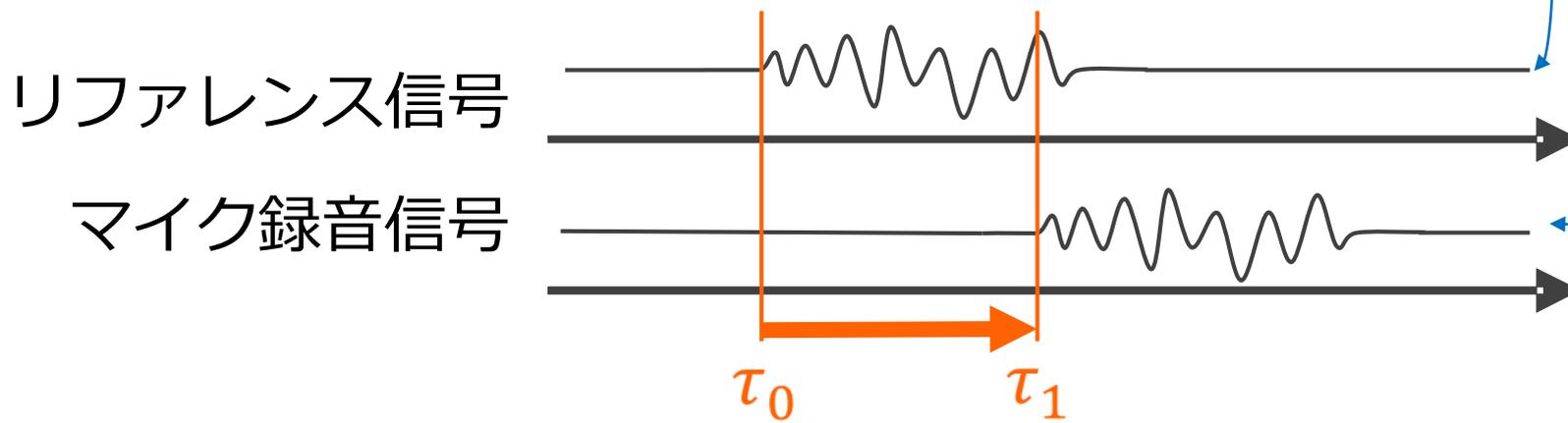
目的 | **オペレータの操縦支援や検査の自動化**
昇っているのか降りているのかが分かれば効率的な操縦

従来 | **有線接続ロボットの**
音響センサに基づく配管内位置推定



今回 | **無線ロボットの**
音響センサに基づく配管内位置推定



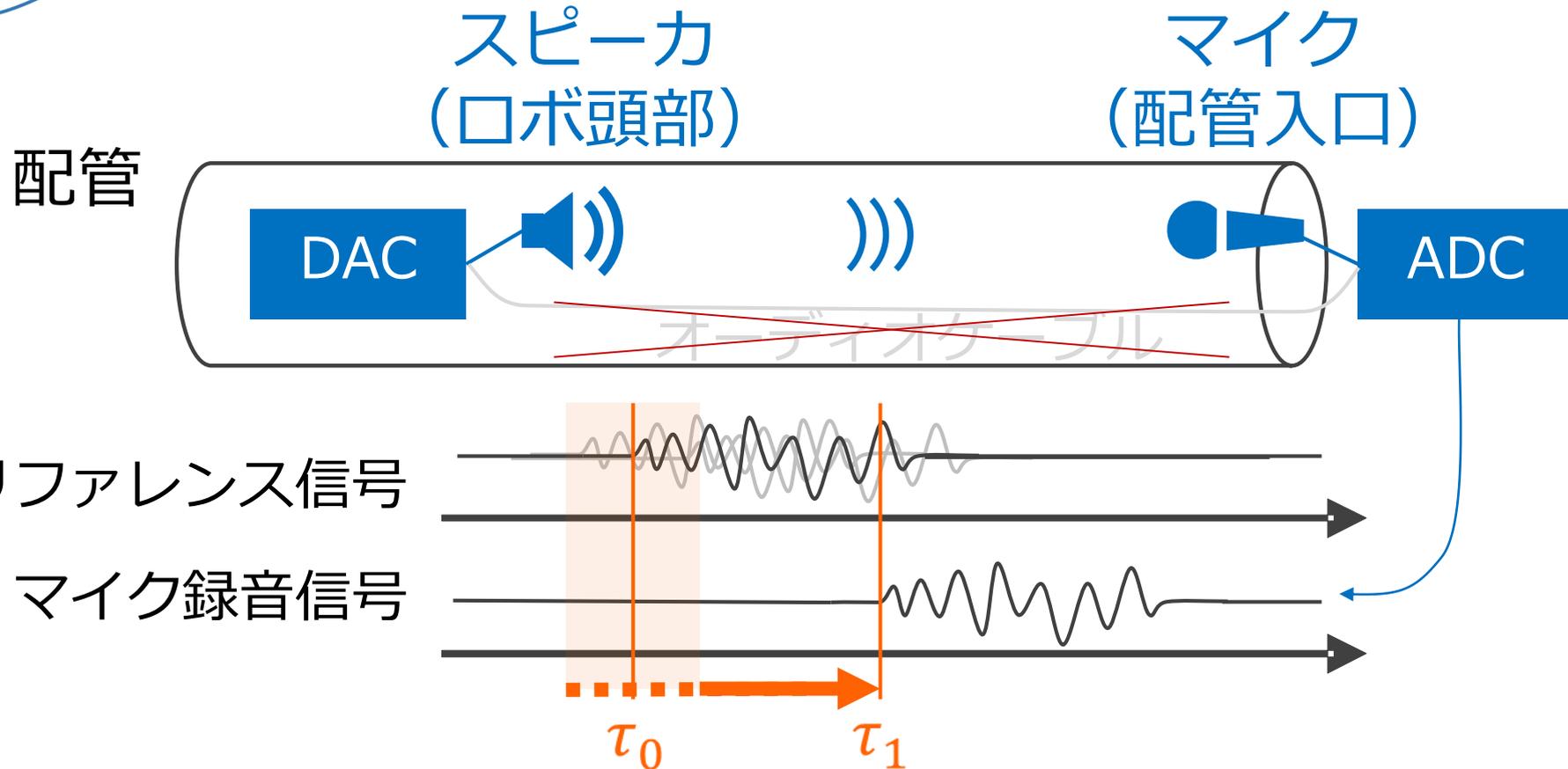


$$\text{距離} = \text{伝達時間} \times \text{音速}$$

$$(\tau_1 - \tau_0)$$

6mの模擬配管で誤差7%以下 →





正確な発音時刻 (τ_0) が分からず測定距離がドリフトする

- 一般的な水晶振動子の精度は $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 程度
→ 測定距離が1分間あたり10cm以上ドリフト

恒温槽付水晶発振器 (OCXO) を送受信モジュールに装着

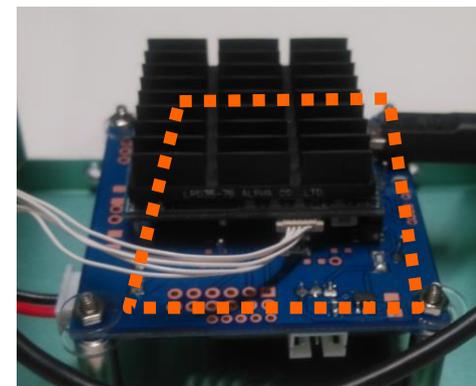
- ☺ 高精度なモジュール間同期を実現
- ☺ 精度が 10^{-9} に向上, 1時間以上の運用でもドリフトなし



送信モジュール (ロボ頭部)

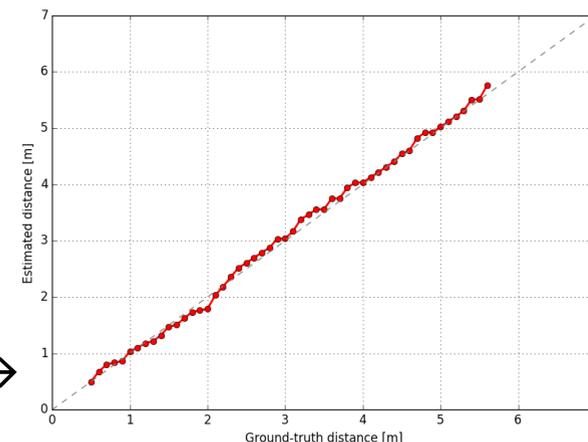


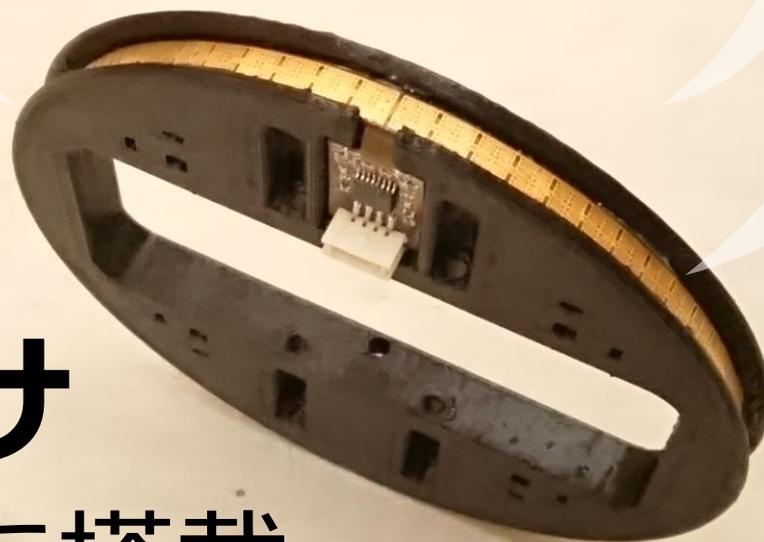
受信モジュール (配管入口)



← 予備実験用の
ロボット頭部

5.5mの配管で
距離測定ほぼ成功→





触覚センサ

全ての外殻に搭載

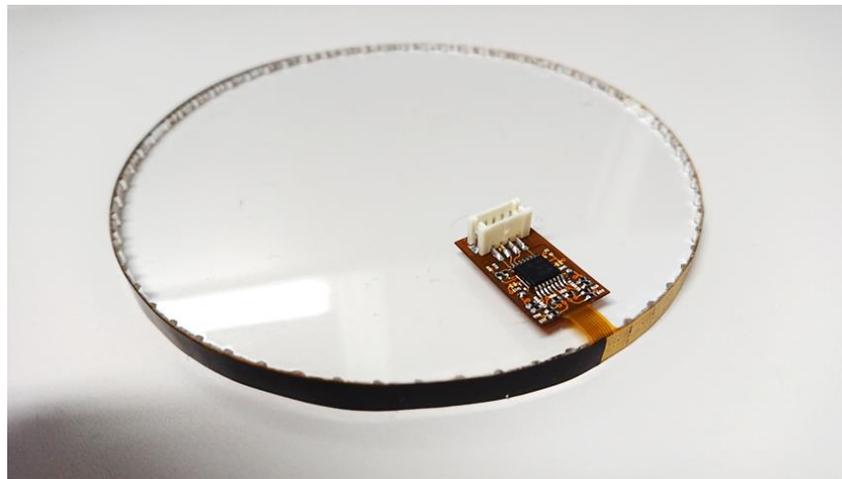
索状ロボット全身の触覚センサ

フレキシブル基板

全周に
巻き付け

完成形状

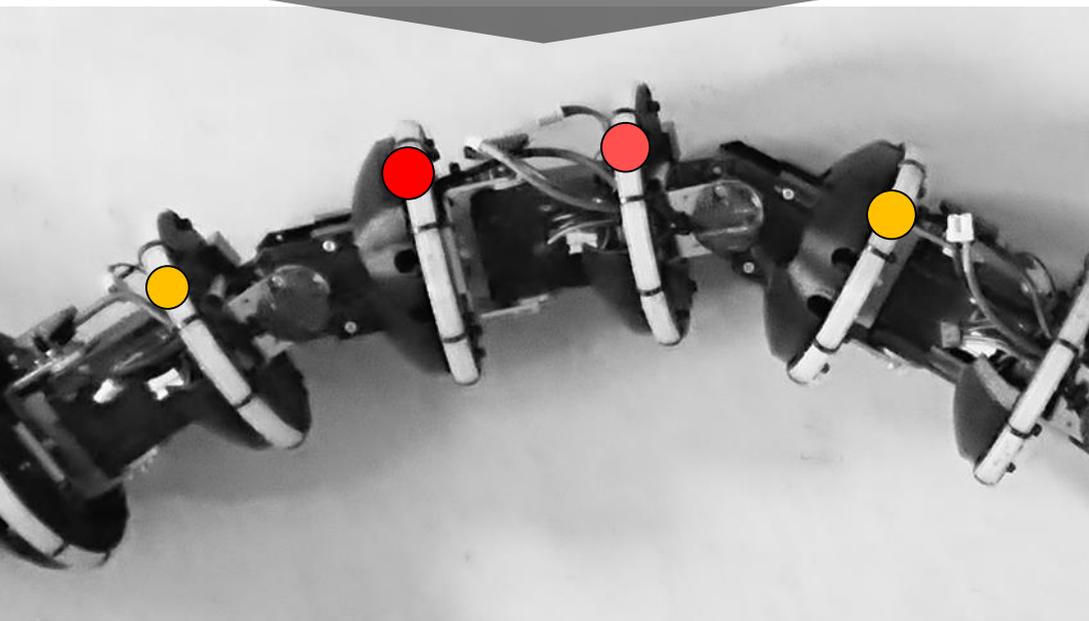
感圧導電性ゴム



内部実装イメージ



全方向の接触を検知可能



全身触覚→多数の感圧部

全部を個別に読み取ると…

☹️ 配線数：多

☹️ 情報取得時間：長

各リングでの圧力分布の
重心位置と総量のみを出力

😊 配線数：少

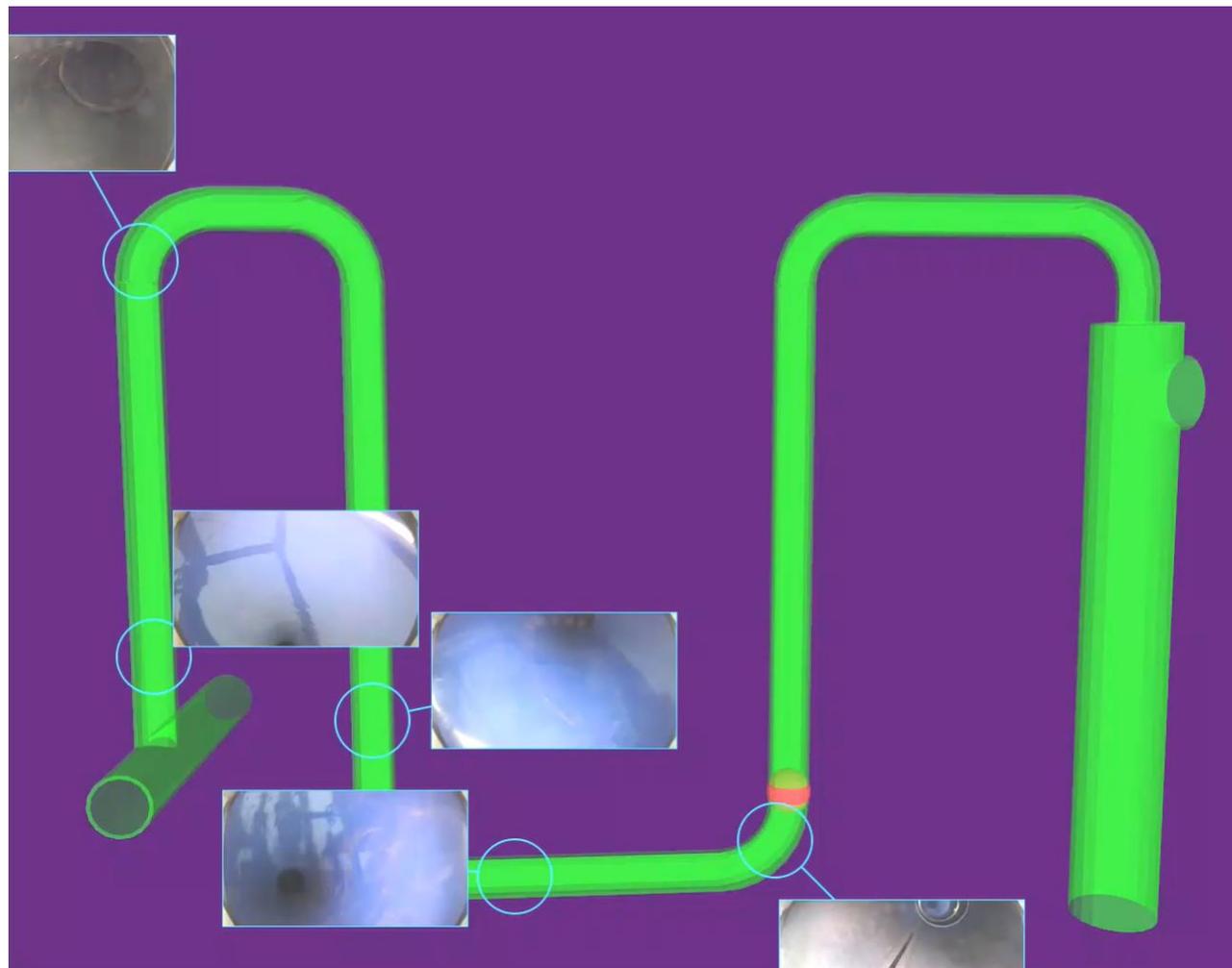
😊 情報取得時間：短

配管上のロボット位置

- 音響センサ推定位置
を使用
- ロボットの現在位置の
把握

写真のマッピング

- 取得位置への配置
- 配管内部の状況把握



カメラ映像の安定化

- 重力方向を基準に補正
- 計器等の視認に有用



(安定化なし)



(安定化あり)

配管との接触力の提示

- 触覚センサデータ値を使用
- 配管への力, 配管からの力の把握

