NEDO特別講座
災害対応ロボットワークショップ

災害対応無人化システム研究開発プロジェクト成果
計測・作業要素技術の開発
水陸両用移動装置・漏水検知センサー

2013年9月3日

株式会社　東芝

研究開発目標

アクセスに困難を伴うような汚濁水が溜まった地下階の調査を想定して、漏水箇所把握のためのモニタリングデバイスと、そのモニタリングデバイスを搭載することが可能な水陸両用の遠隔移動装置の開発を行う。また、遠隔移動装置の操作を視覚的にサポートする画像処理ソフトウェアを開発する。

研究開発目標や、「現場で使える」装置を開発するには、想定される下記課題を解決する必要がある。

＜開発課題と対応策＞

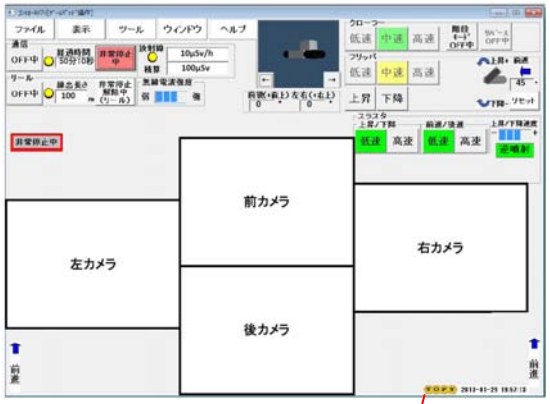
1. 地上から地下階へ移動可能なビークル装置
   →クローラタイプのビークルを水中でも使用可能とする防水タイプのクローラロボットを開発

2. 漏水検知のためのモニタリングセンサー群
   →音響マイクロフォン、ドップラー流速計による漏水検知、汚濁水中での可視化が可能な超音波カメラの開発、ケーブル長100mのケーブル巻取装置

3. 水中光学カメラ画像からの自己位置測定
   →ビークル自身の位置把握等のための画像処理技術開発

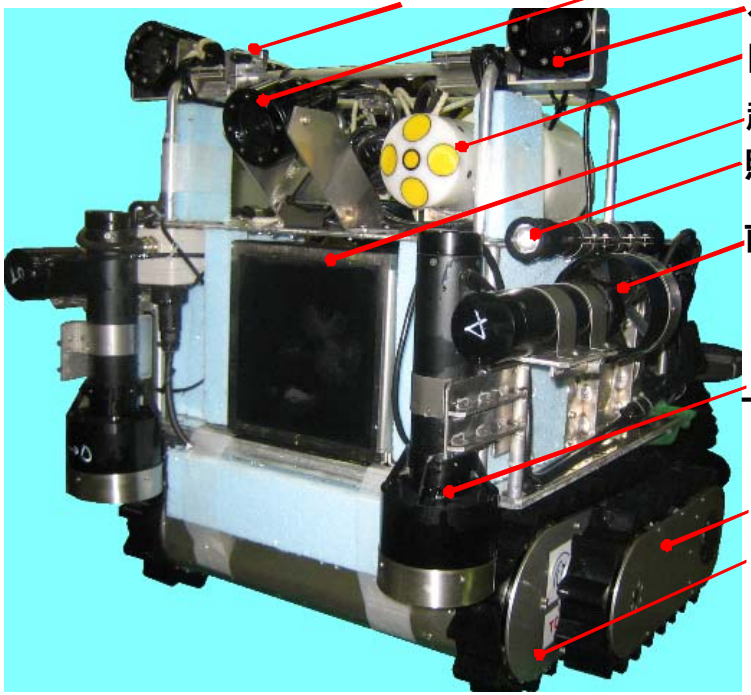
水陸両用移動装置

主仕様
幅:700㎜、高さ;680㎜
最小旋回径φ900mm
速度:0.3m/s(気中), 0.1m/s(水中)
スラスタ:6個搭載



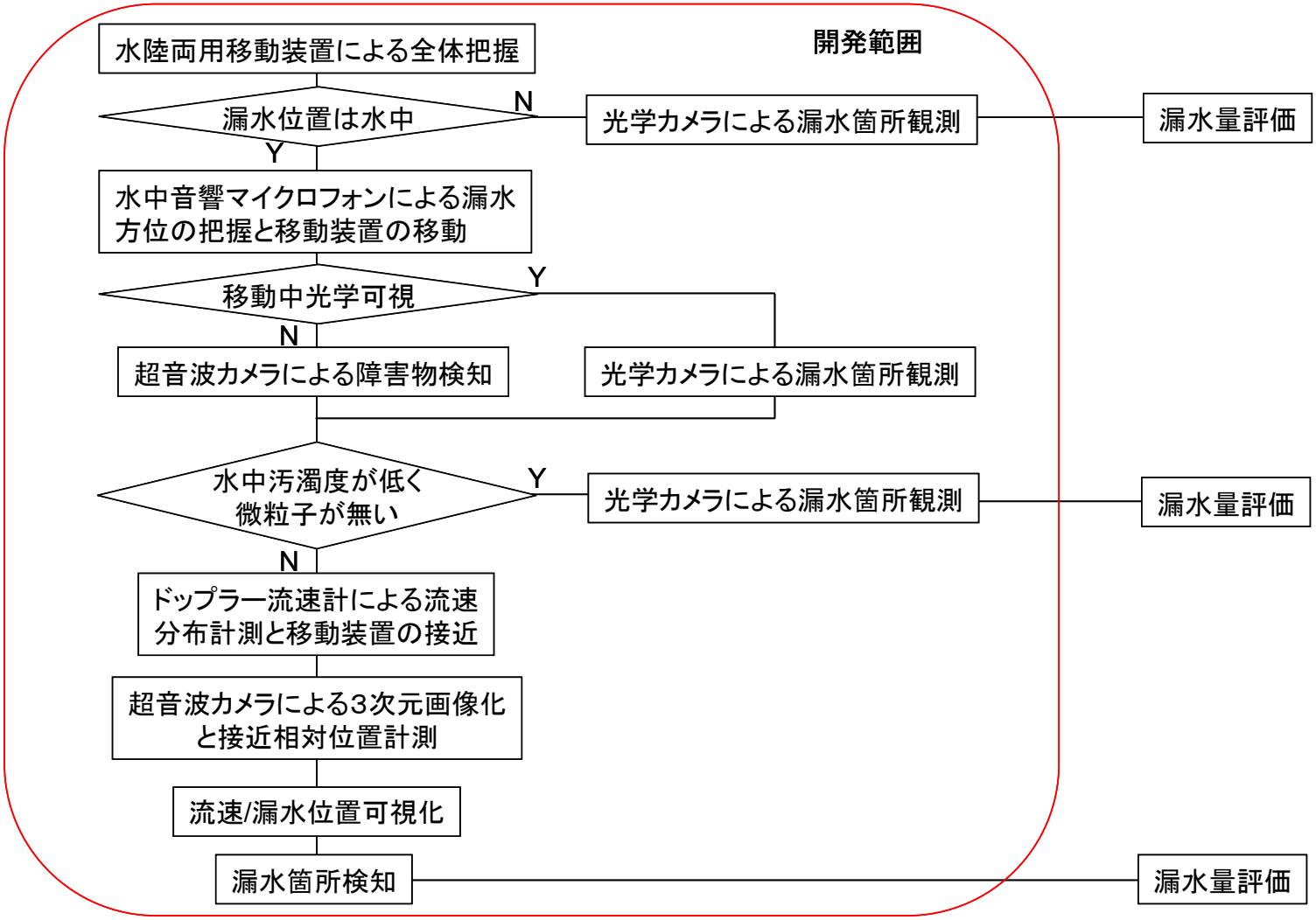
制御PC

ゲームパッドによる操作



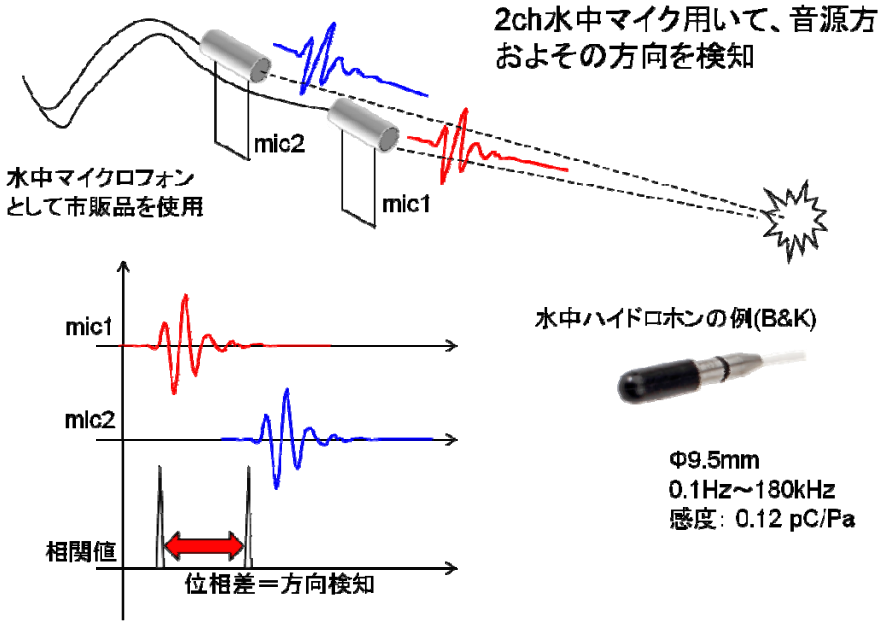
モニタリングセンサーを搭載した
水陸両用移動装置

漏水箇所検知フロー


開発範囲
水陸両用移動装置による全体把握
漏水位置は水中
N
Y
光学カメラによる漏水箇所観測
漏水量評価
水中音響マイクロフォンによる漏水
方位の把握と移動装置の移動
移動中光学可視
Y
N
超音波カメラによる障害物検知
光学カメラによる漏水箇所観測
水中汚濁度が低く
微粒子が無い
Y
光学カメラによる漏水箇所観測
漏水量評価
N
ドップラー流速計による流速
分布計測と移動装置の接近
超音波カメラによる3次元画像化
と接近相対位置計測
流速/漏水位置可視化
漏水箇所検知
漏水量評価

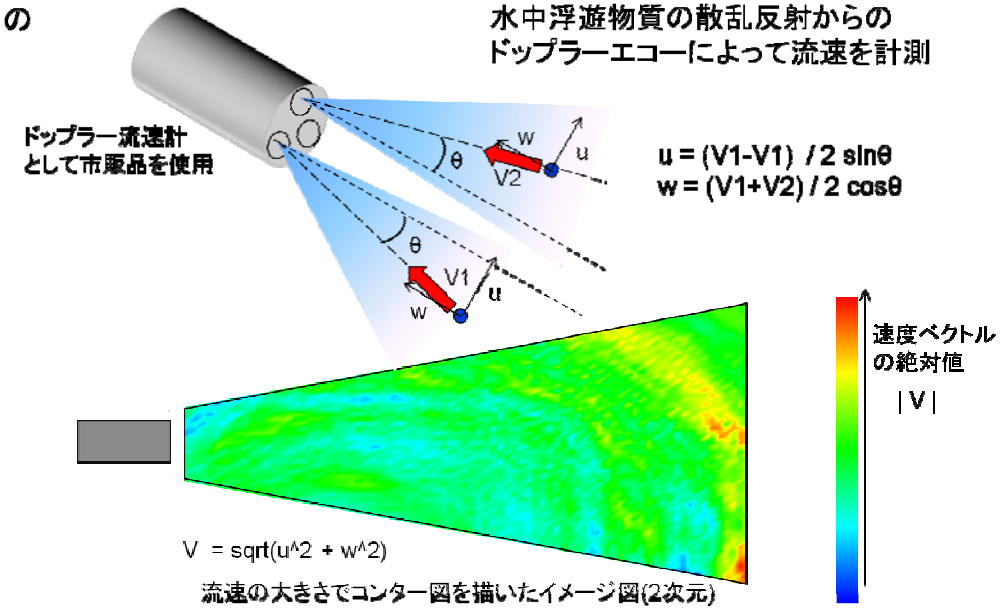
Y

漏水箇所検知概念



音響マイクロフォンによる音源方向推定

センサー（マイクロフォン）：市販品使用
信号処理装置：新規製作

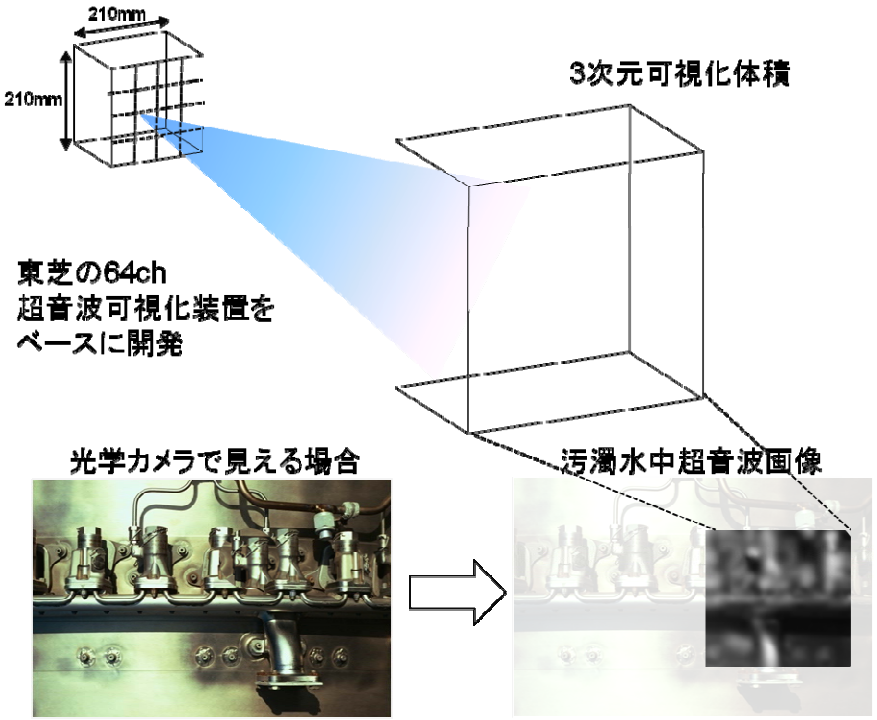


ドップラー流速計による流速分布計測

センサー・信号処理装置のセット：市販品使用

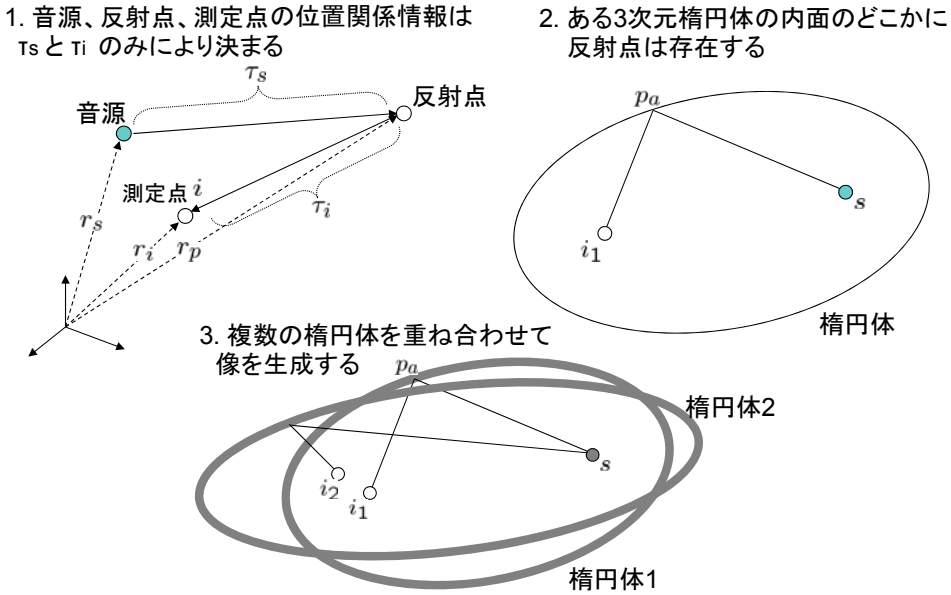
超音波カメラ

64chマトリクスカメラによる可視化



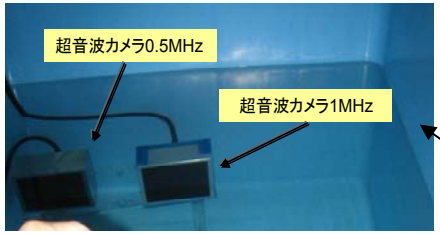
超音波による3次元画像化
（開口合成法）

センサー（マトリックスセンサ）、信号処理装置：新規製作



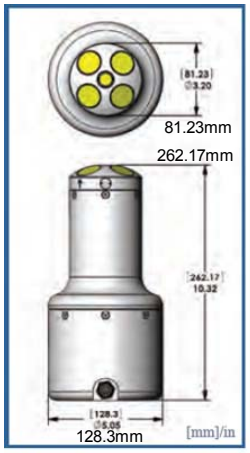
開口合成法の原理

モニタリングシステム構成



超音波カメラセンサー

音響マイクロフォン（B&K8103）



ドップラー流速計（Sontek RiverSurveyor）

100mケーブル

RS422：5ピン
RX+,RS-,TX+,TX-,G

水陸両用移動装置搭載

超音波カメラ　同軸64ch 直出

水密ハウジング

水中マイク1　同軸1ch 直出

水中マイク2　同軸1ch 直出

232C ⇒422変換

DC5V

DC-DC コンバータ

ドップラー流速計　RS-232C+ 電源の専用コネクタ

バッテリー：14.4V 2.7AH
連続使用約8時間
ACアダプタ：AC INPUT 100-240V
DC OUTPUT 18V 3.3A

DC電源 DC12-18V

水陸両用移動装置電源

100mケーブル(76芯同軸)

コネクタ分岐　DC5V

高速AD

マイクアンプ

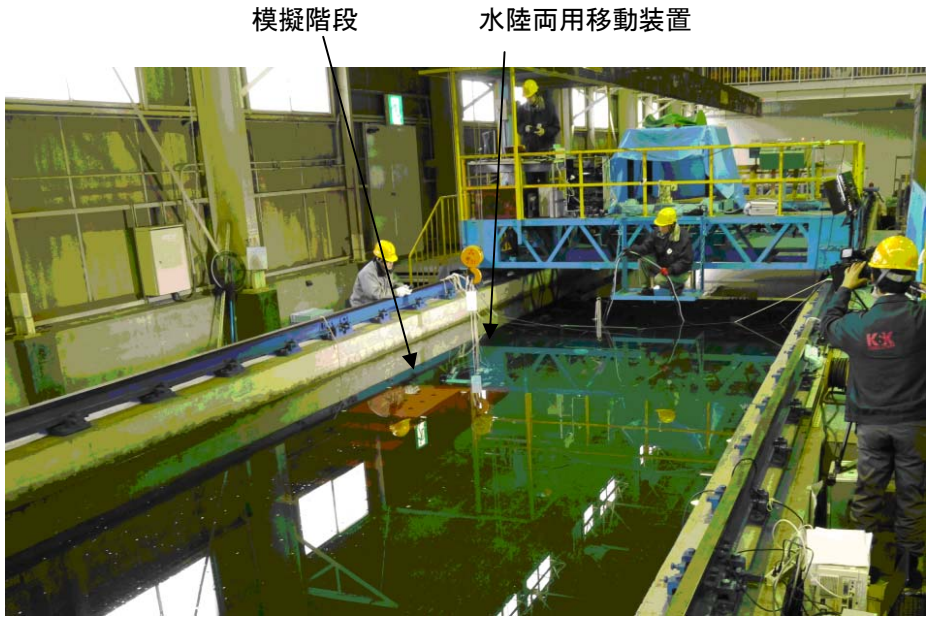
422 ⇒232C変換

超音波可視化センサ処理装置

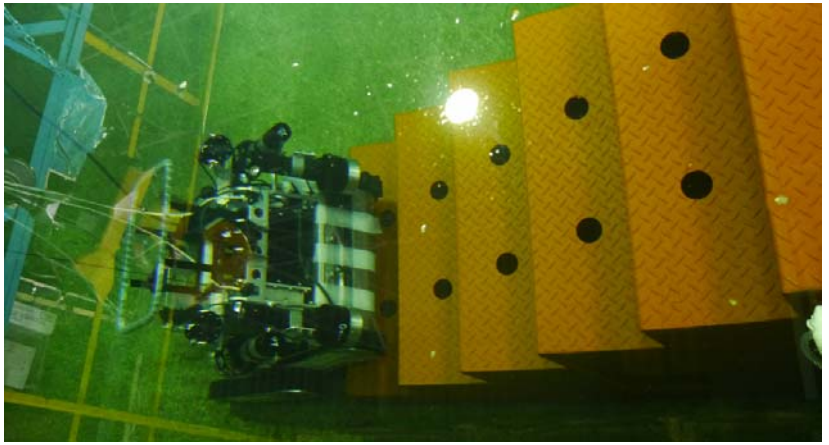
可視化用PC

高速信号処理装置

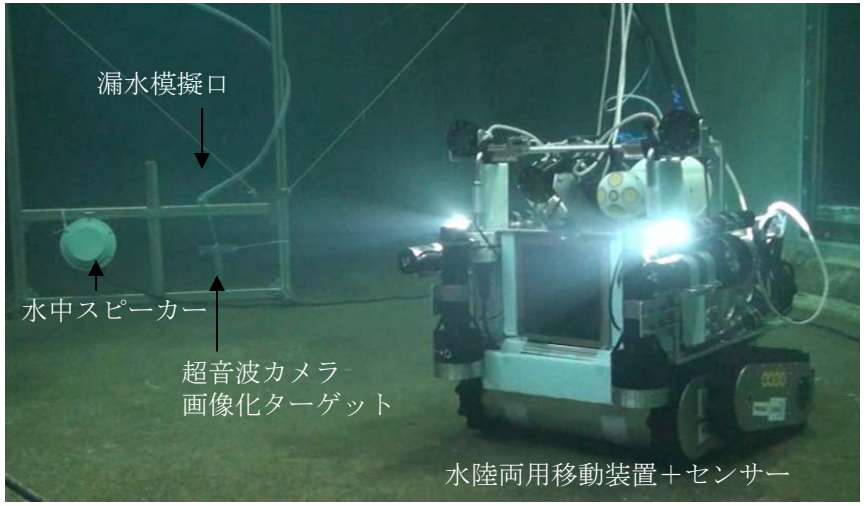
水中モックアップ試験



JAMSTEC 大型波動水槽



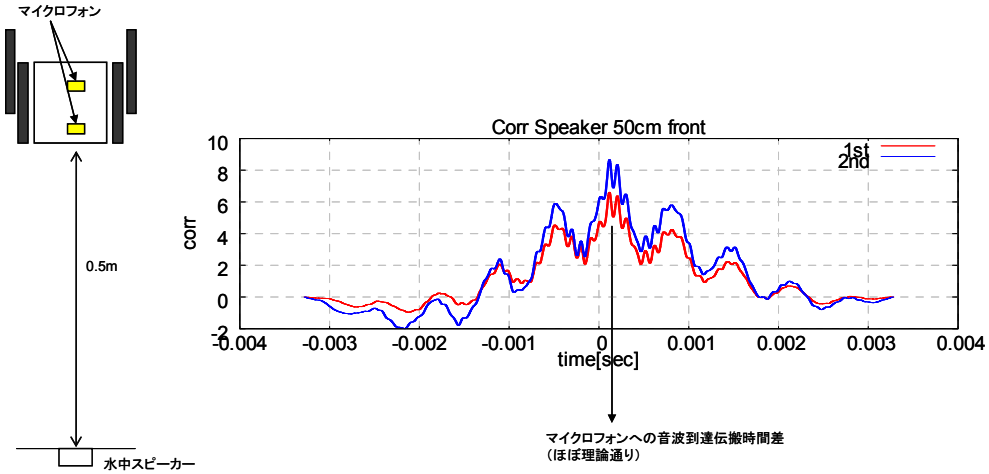
水中階段登坂試験



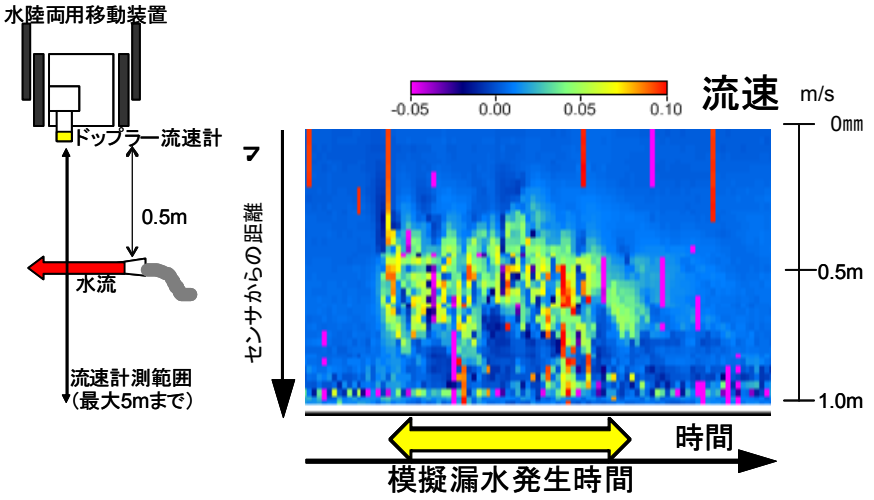
漏水検知水中試験

水中試験結果(1/2)

(1)音響マイクロフォン
音響マイクロフォンによる
音源方向推定
→2つのマイクロフォン
からの位相差検出による音源
方向推定可能であることを確認

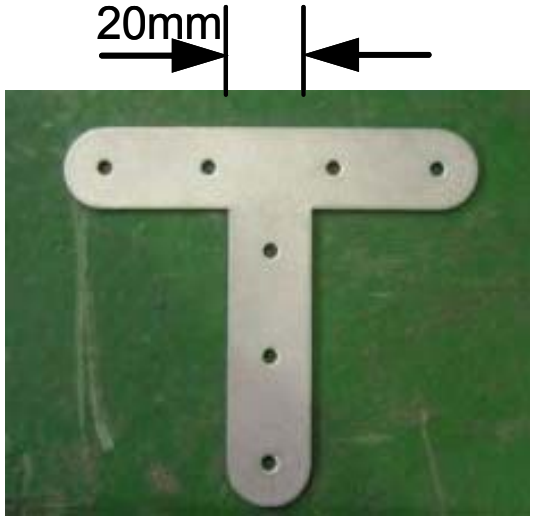


(2)ドップラー流速計
模擬漏水口からの流速計測
(0.05m/s程度)の計測が可能
であることを確認

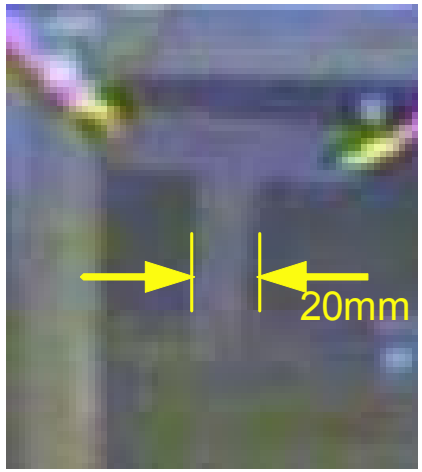


水中試験結果(2/2)

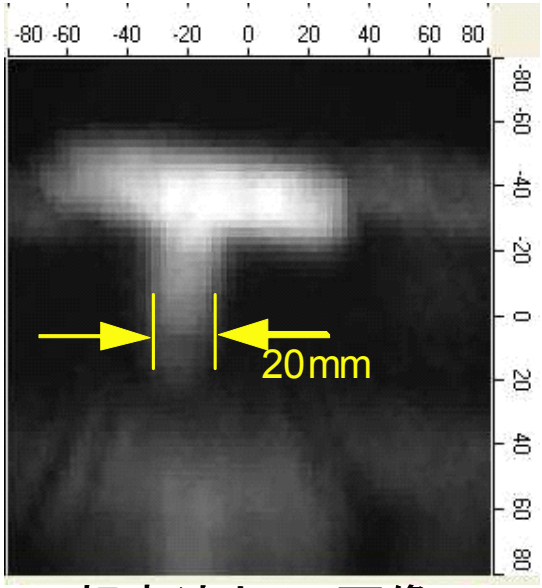
(3)超音波カメラ
　超音波カメラを用いて水平解像度約20㎜程度で画像化対象を可視化可能であることを確認。(画像化速度:約1フレーム／秒)



画像化対象



水中カメラ画像

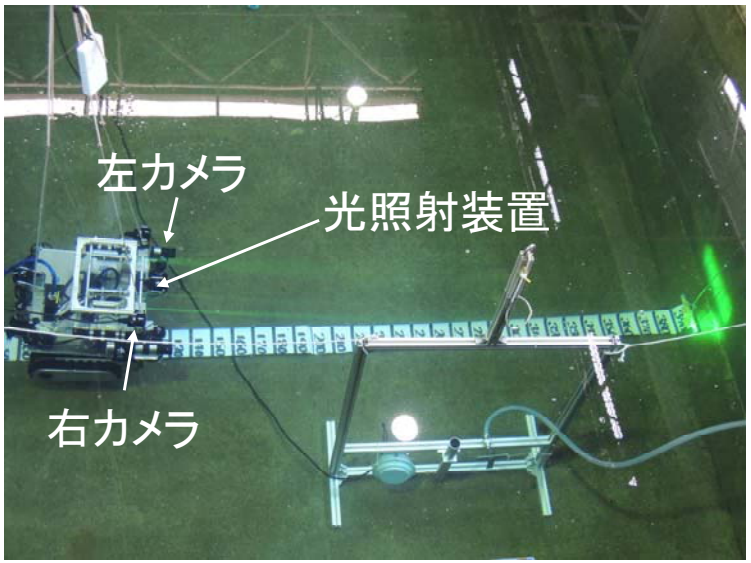


超音波カメラ画像

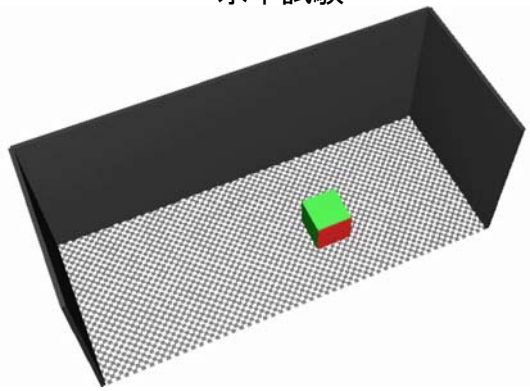
計測データマッピング技術（東京大学　山下先生）

水陸両用移動装置の水中操作性向上
①水中での広範囲の視野を確保
・魚眼ステレオ計測システムからの広角画像を、屈折率を考慮して補正して操作者に提示
②水中3次元計測システム
・左右の画像をマッチングさせ対象を3次元計測
・暗所では、光を照射し、投影光の画像情報から3次元計測
⇒水陸両用移動装置の3次元座標、移動軌跡を求める手法を開発
③ノイズ除去フィルタの開発
・放射能環境等で発生する視野妨害ノイズを除去

魚眼ステレオ計測システム



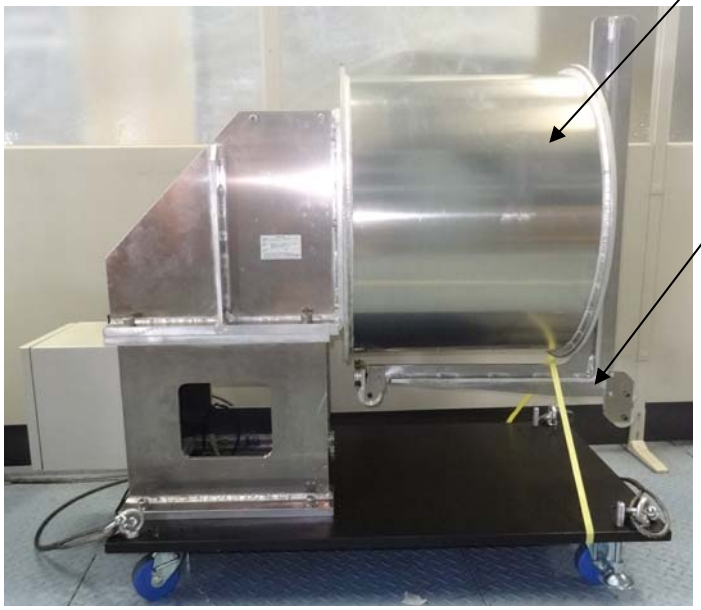
水中試験



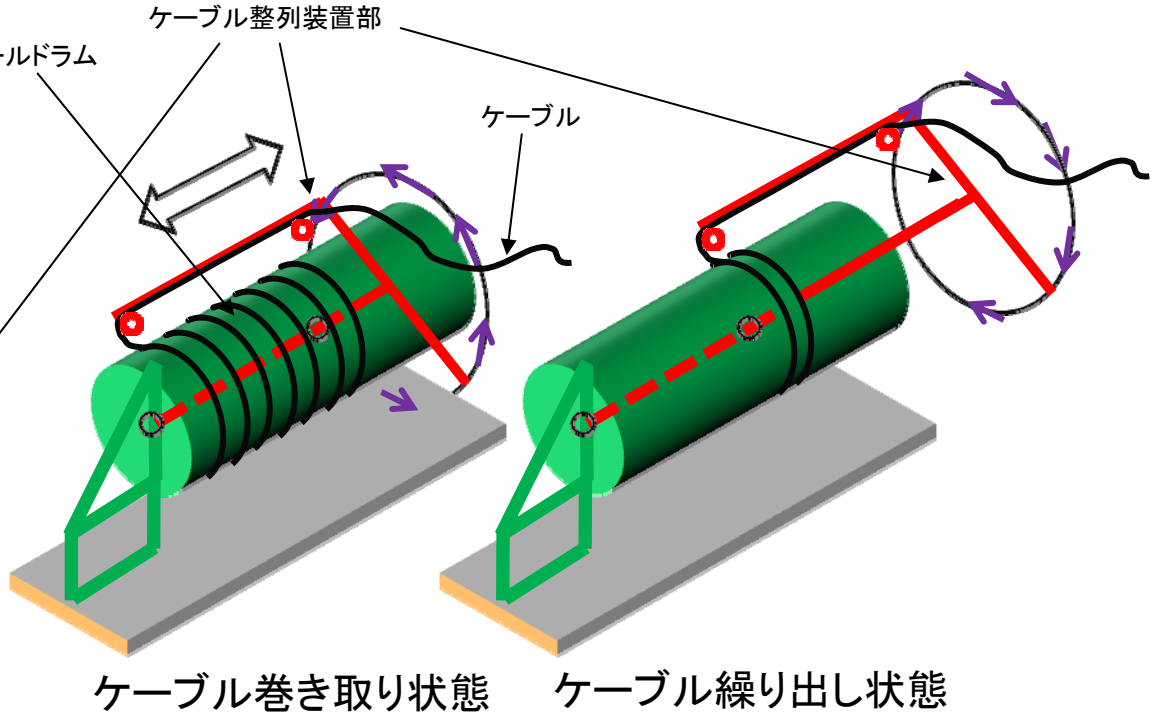
水陸両用移動装置の相対位置の表示

調査時のケーブル処理

100m多芯ケーブルは、重く、かさ張るため作業者の負担増→巻き取り装置を開発



多芯（76芯）100mケーブル巻き取り
装置外観

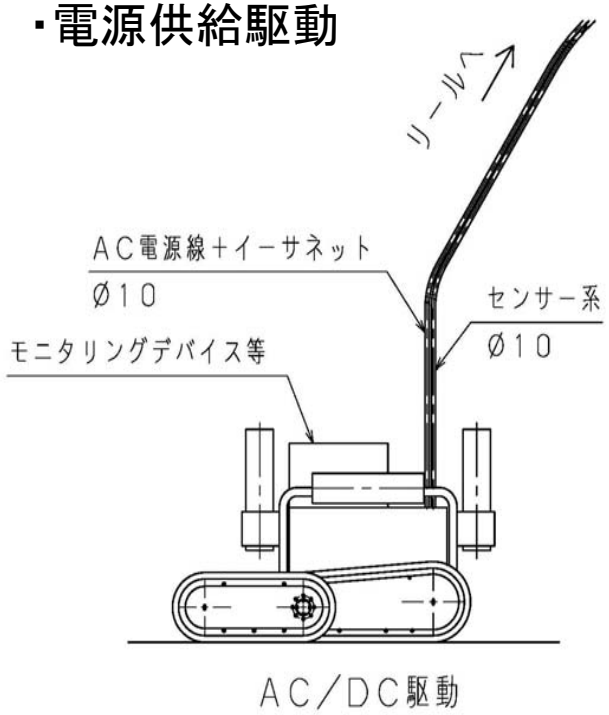


ケーブル巻き取り／繰り出し動作模式図

調査目的に応じたセッティング

装置をモジュール化し、目的に応じた組合せによる合理的な装置構成での調査が可能

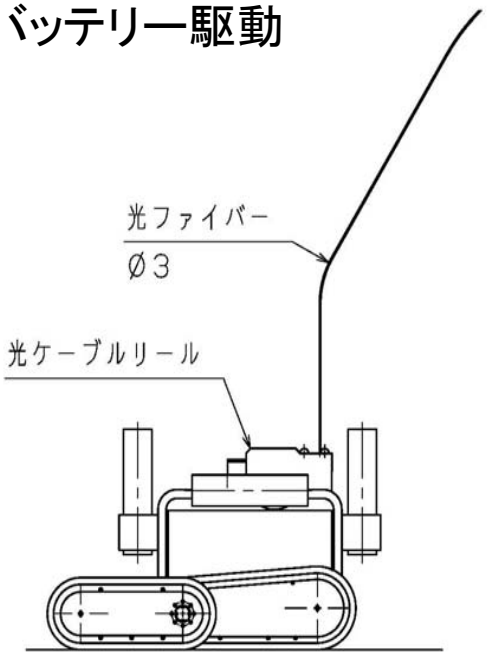
＜カメラ・モニタリングデバイス調査用＞
- 別体型有線通信装置
- 光学カメラ、モニタリングデバイス
- 電源供給駆動



AC／DC駆動

モジュール交換

＜カメラ調査用＞
- 搭載型有線通信装置
- 光学カメラ
- バッテリー駆動



バッテリー駆動

まとめ

【開発成果まとめ】
・水陸両用移動装置を開発し、モニタリングデバイスを搭載して動作性能等の基本性能を確認した
・漏水検知のためのモニタリングデバイスを開発し漏水箇所把握の見通しを得た
・水陸両用移動装置の操作をアシストするための画像処理ソフトウェアを開発し基本性能を確認した

【活用ソリューション例】
〇福島第一原子力発電所のトーラス室部の漏水・水流調査
〇洪水等の自然災害により水没した地下階の調査作業