





福島県産学連携ロボット研究開発支援事業補助金

#### 不攪乱柱状採泥機能を有する 水中グライダー型環境放射能調査用ロボットの開発

共同研究:福島大学

NECプラットフォームズ

協栄精機

アトム

SGKシステム技研

研究協力:飯田製作所

沖マイクロ技研

Fraunhofer HHI,福島三技協

プロジェクトマネージャ

福島大学 教授

高橋隆行

研究リーダー

福島大学 特任助教

情野瑛

#### 研究背景



福島県には猪苗代湖や五色沼をはじめとする多くの湖沼が存在し、様々な環境調査が行われている。



水質調査

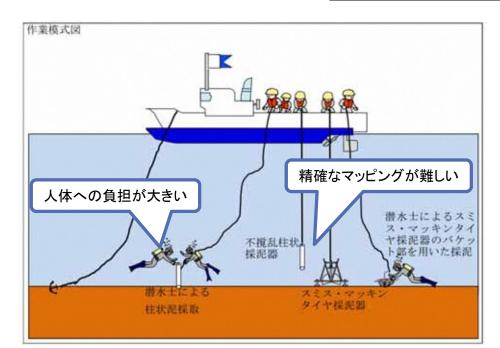
放射線量調査





湖底泥の採取が重要

- ▶ 放射性セシウムは水中にはほとんど存在せず、 湖底泥にある。
- ▶ 地層構造を保存して採取できれば、放射性セシウムの、これまでの動態履歴に関する情報を得ることができる。



#### 水中ロボットの導入が 効果的である

▶ 湖底泥をサンプリングできる小型水中ロボット はこれまで開発されていない。むしろ、水中から 何か採取してくることは、ロボットが再浮上でき なくなる可能性があるので、これまで避けられ てきた。



新しい技術開発が必要

#### 研究開発の目標

#### 以下のような機能を有する水中ロボットを開発する

- ▶ 地層構造を保存したまま湖底泥を採取する機能を有する。
- ▶ 小型軽量でその運用に母船を必要としない。
- ▶ 湖岸から投入することで自立的・自律的にサンプリングが行える。

#### 具体的な目標として,

- ▶ 母船を使わず岸からの投入で自立的に往復約10km(猪苗代湖の 湖岸から湖心まで往復することを想定)の調査が可能
- ▶ 2人で運搬可能な30kg以下の重量として湖岸までの道路等が整備 されていない湖沼であっても調査を可能
- ▶ 事前調査等ではロボットを遠隔操縦するとともに湖底の様子をリアルタイムで動画による観測が可能

湖沼における多点での正確な位置情報に基づく汚染状況(マップ)を知るのみならず,過去に遡って放射性物質の流入・沈着の時間履歴を調査することができる。またこのロボットにより定期的な調査が可能となるため、将来予測にとっても有用な情報を得ることができる。

#### これまでの開発の経緯

2012年

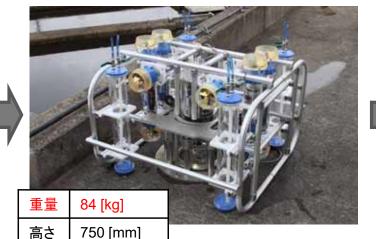
1号機(コンセプト機)

2014年

2号機



重量	31 [kg]
高さ	640 [mm]
幅	550 [mm]
奥行	740 [mm]



福島県平成26年度災害対応ロボット産業集積支援事業 の支援を受けて,企業と共同開発

1072 [mm]

950 [mm]

日本オートマチックマシン(株), (有)協栄精機, (株)タカワ 精密, (タケルソフトウェア) 2015年

2号機(改良型)



重量	69.5 [kg]
高さ	806 [mm]
幅	757 [mm]
奥行	630 [mm]

#### 2号機(改良型)の問題点

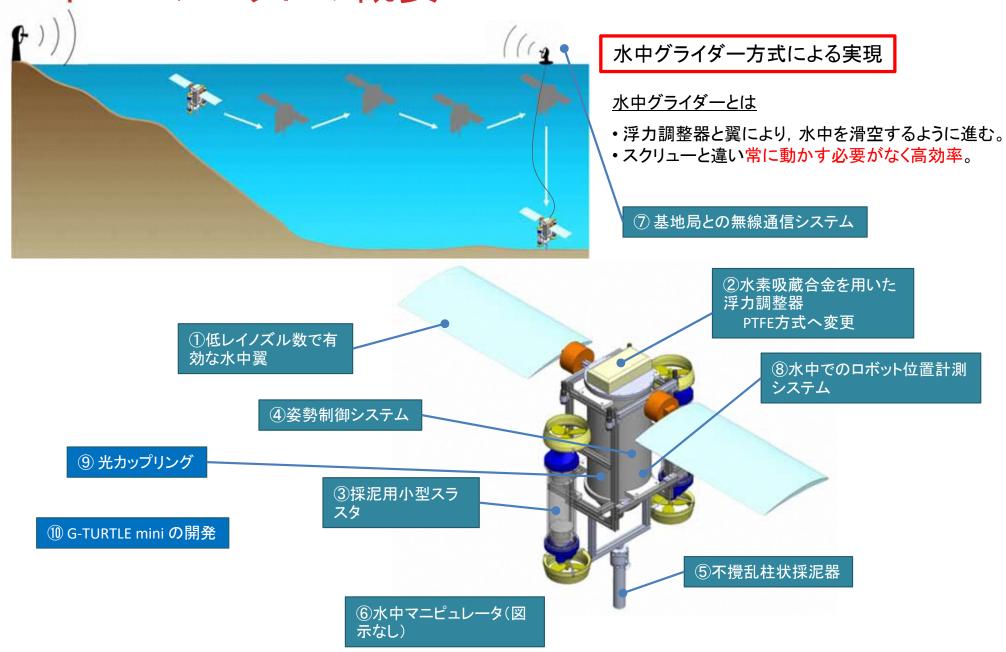
軽量化:現状約70kg 移動範囲:現状800m 可搬性を向上させたい岸から投入したい

奥行

軽量化の観点から電池容量を増やす方策は採用できない。



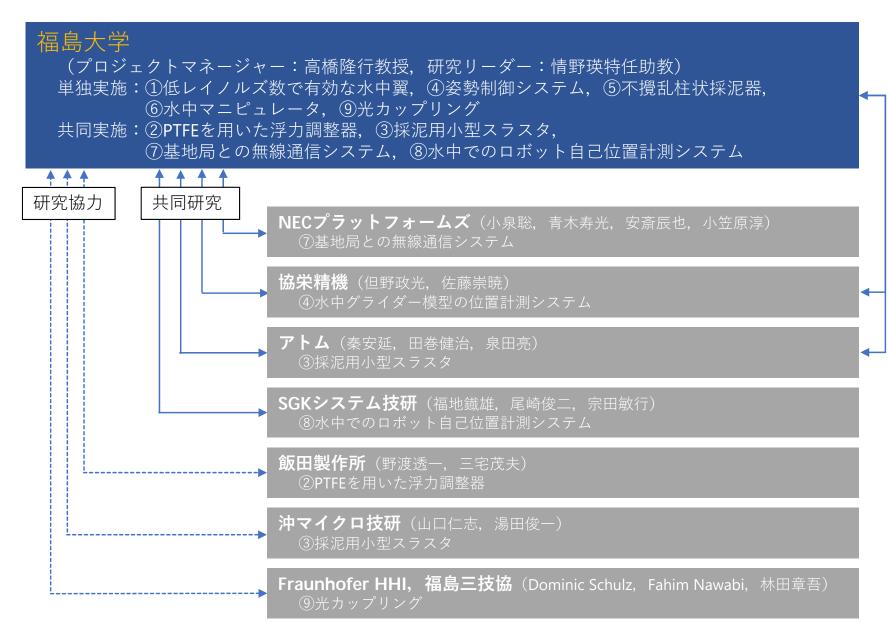
## 本プロジェクトの概要



G-TURTLE (Glider-Type Underwater RoboT for Lake Environmental Survey)

# 最終年度の研究実施体制







## プロジェクト全体のまとめ

- ◆ 本プロジェクトの実施により、必要な要素技術の完成度が高まり、目標とする 水中ロボットの実現に大きく近づいた。
- サブテーマ⑥水中マニピュレータ, および②浮力調整器では, 学会発表で複数の受賞を受けるなど, 学術的成果を高く評価された。
- サブテーマ⑦ 基地局との無線通信システムでは、通常数100m程度の距離の留まる普通の Wi-Fi 通信方式を用いて湖上にて5,000mの距離の通信を実現し、免許なしでDVD画質動画の実時間伝送が可能なことを示した。

### 要素技術開発の状況

- ① 低レイノルズ数で有効な水中翼
- ② PTFEを用いた浮力調整器
- ③ 採泥用小型スラスタ
- ④ 姿勢制御システム
- ⑤ 不攪乱柱状採泥器
- ⑥ 水中マニピュレータ
- ⑦ 基地局との無線通信システム
- ⑧ 水中でのロボット位置計測システム
- 9 光カップリング
- ① T-TURTLE mini の開発

技術開発の状況

①低レイノルズ数で有効な水中翼

#### 課題と開発目標

グライダー方式の水中ロボットを構成する最も重要な要素のひとつが翼である。水中でゆっくりと動く(低レイノルズ数領域)翼の特性を明らかにし、水中翼の数値シミュレーションモデルを完成させ、数値解析による水中グライダーの最適設計を目指す。

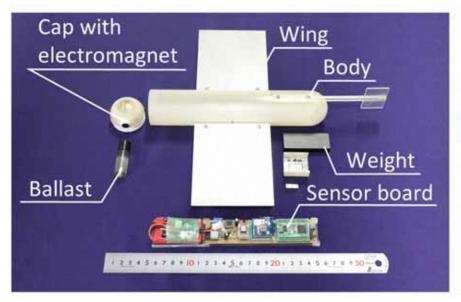
対象として、平板翼を用いる。平板翼は、低レイノルズ数領域では十分な性能を有すると言われており、その特性が比較的素直と考えられることがこれを対象とする理由である。

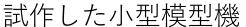
併せて、翼特性をしっかりと計測できる環境の構築を行う。

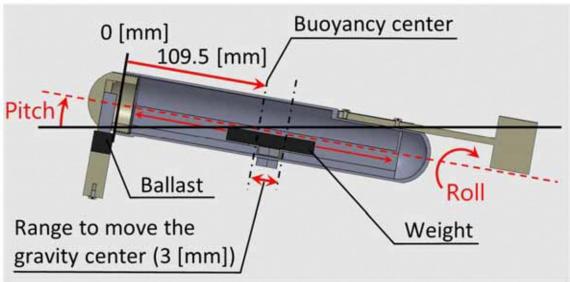
## 模型実験機の構成



- 浮力と重力を考慮し、様々なグライディングを模擬できる 小型模型機を開発
  - 錘の位置を動かすことで、重心と浮心の位置関係を変更可能
  - 小型模型機内部の傾斜センサで模型機の姿勢を計測





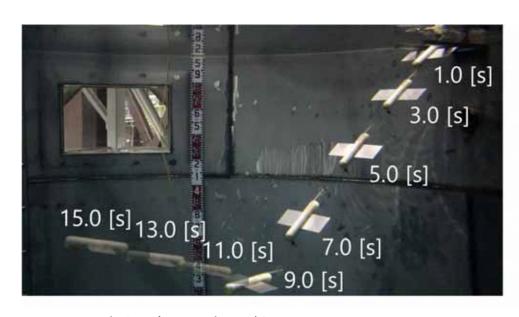


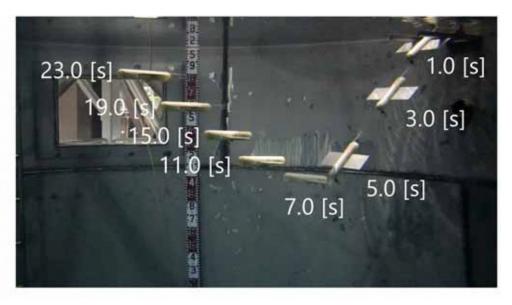
模型機の姿勢角と重心位置



# グライディング実験







浮上時の重心位置:110.5[mm]

浮上時の重心位置:109.5[mm]

潜水・浮上の様子

潜水・浮上の様子から、浮上時の重心位置が110.5 [mm]のときは前方へ移動し浮上しているが、浮上時の重心位置が109.5 [mm]のときは前方への移動量が極めて小さいことが確認された。



## まとめと今後の課題



- 潜水・浮上が可能な小型模型機を製作し、様々な条件で滑空時の姿勢測定を行った。
- 重心位置を1 [mm]間隔で変更し実験を行ったが, 1 [mm]の重心位置の変化が ピッチ角に与える影響が非常に大きいことが確認された。
- 今後は、重心の移動間隔を狭めるとともに実験の再現性を高めるため、すべりねじを用いて重心移動を行う模型機を製作し、追加の滑空実験を行う。

技術開発の状況

## ② PTFE を用いた浮力調整器

### 課題と開発目標

グライダー方式の水中ロボットにとって、翼とならんで重要な要素が浮力調整器(浮力エンジン)である。開発する水中ロボットは、国立公園内にある猪苗代湖での運用を想定していることから、油漏れなどの環境汚染を発生させるリスクを最小限に抑えた浮力調整器を開発する。

福島大学ではこれまで、水素吸蔵合金を用いた浮力エンジンを提案し、その開発を行ってきた。水素吸蔵合金は、加熱・冷却により水素の放出・吸蔵をコントロールできる。1gあたり100 ml以上もの水素を吸蔵でき、また機械的可動部がないことから、浮力調整器として小型で大きな浮力調整範囲を実現できる可能性がある。しかし、これまで1500ml程度の体積変化(放出 吸蔵、大気圧下)に2~5分かかっていた。これを改善することを目指して開発を行う。

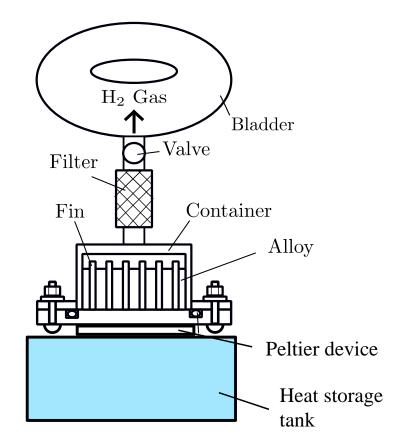
### 従来技術:水素吸蔵合金を用いた浮力調整器

#### 特徴:

- ▶ 水素吸蔵合金の加熱・冷却にはペルチェ 素子を用いる。
- ▶ 熱効率を上げるため蓄熱タンクを設ける。
- ブラダには、ブチルゴム製のチューブを 用いる。

#### 優位性:

- オイルブラダと比較して、環境に対するリスクが小さい。
- 蓄熱タンクの熱を加熱に再利用する ので省エネルギ。
- ▶ 熱タンクを予熱することで、稼働直後でも素早い動作が可能。



蓄熱タンクを設けることで、熱効率の向上を図る。

#### 水素吸蔵合金

- ▶ 加熱・冷却により水素ガスを放出・吸蔵
- ▶ 少量の合金で大きな体積変化



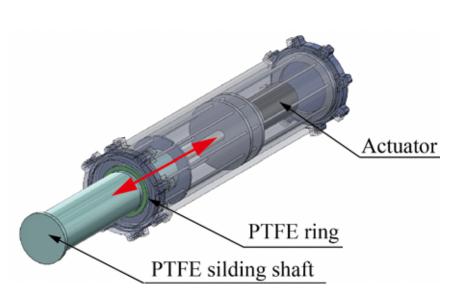
#### 【受賞】

[1] 日本機械学会 若手優秀講演フェロー賞(担当学生(M2)が受賞), 湖沼調査用 モジュール構造型小型水中ロボットの開発 ~水素吸蔵合金と熱タンクを用いた 小型浮力調整器の構想 ~, 2018年6月(発表は2017年6月), 【備考】発表件数 1274件(受賞件数非公開)

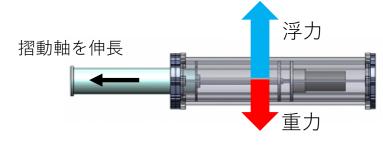
#### PTFEを用いた固体浮力調整器



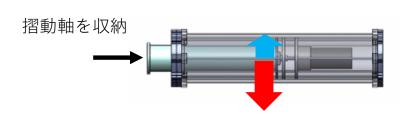
- 固体浮力調整器
  - ロボットを浮かせる場合には、摺動軸を伸長し、体積を増加する.
  - ロボットを沈める場合には、摺動軸を収納し、体積を減少する.
- フッ素樹脂(Polytetrafluoroethylene: PTFE)の 超撥水・低摩擦性を利用
  - PTFEを摺動軸とシールリングに用いる.
    - 摺動部の摩擦抵抗を削減
    - 高水圧下でのシーリング



提案する固体浮力調整器のイメージ図



浮力>重力:ロボットは浮上

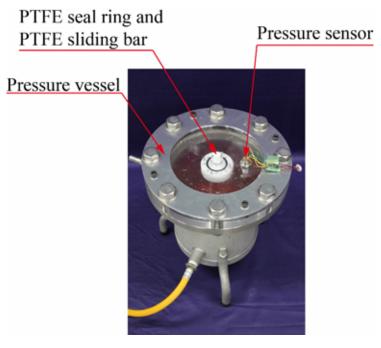


浮力 < 重力: ロボットは沈下



#### ② PTFEを用いた浮力調整器

- PTFEリングの高水圧下(約1.0 [MPa])での摩擦力測定実験
  - PTFE軸(外径φ15.00 [mm])に対し、しまりばめ状態のPTFEリング(内径φ14.90 [mm])を用いた状態で、摩擦力を計測



PTFEリング性能試験装置

#### 実験結果

- 計測された摩擦力:11.55 [N]
- 水圧によって軸に加わる荷重:176. 71[N]

力の伝達効率は**98.37 %と非常に 高効率**であることが確認された.

#### 【受賞】

[1] 計測自動制御学会 SI2019優秀講演賞, 水中ロボットのためのPTFEを用いた超小型浮力調整器の検討, 2019年12月、【備考】発表件数848件(受賞件数非公開)

## まとめ



- 小型水中グライダーのための新しい浮力調整器の開発を進めた。
- まず、水草飼育用小型炭酸ガスボンベを利用する浮力調整器の試作を行った。 当初の開発目標である「高速化」は達成できたが、重量が大きくなってしまい、 実用には適さないことがわかった(スライド省略)。
- PTFE (ピストン方式) は、水深100mにおいて、力の伝達効率98.37%を達成し、 速度、重量ともに可能性のある方式であることがわかった。
- 今後,浅い水深における効率の向上を図っていく。

技術開発の状況

③ 採泥用小型スラスタ

### 課題と開発目標

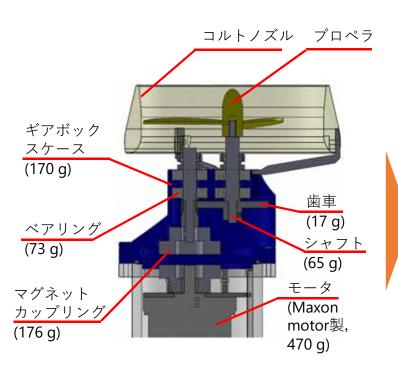
開発するロボットには、不攪乱柱状採泥器を湖底泥中に貫入・抜去するためのスクリュースラスタを搭載する。福島大学でのこれまでの検討によると、直径30mm、深さ約150mmの採泥を行うためには、採泥器の貫入・抜去に必要な力がおよそ50N程度であることがわかっている。安全率を2として、約100Nの推力を発生させるために、これまで4本のスクリュースラスタを搭載してきた。このスラスタは1本あたり長さ640mm、太さ127mm(ノズル部、本体部は96mm)、質量4.38kgとなっており、現行の水中ロボットの重量増の主要な原因のひとつとなっていた。

そこで、より小型軽量なスクリュースラスタを開発する。

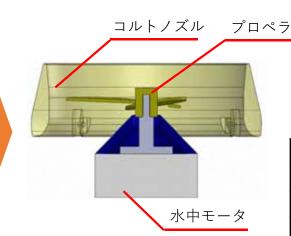
# 水中モータを用いたスラスタ



- モータを水中で駆動させる
  - マグネットカップリングやギアが不要となり、小型軽量化が可能となる
  - 水冷により、高出力で長時間駆動できる可能性がある





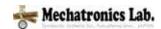


水中モータを用いたスラスタモジュール



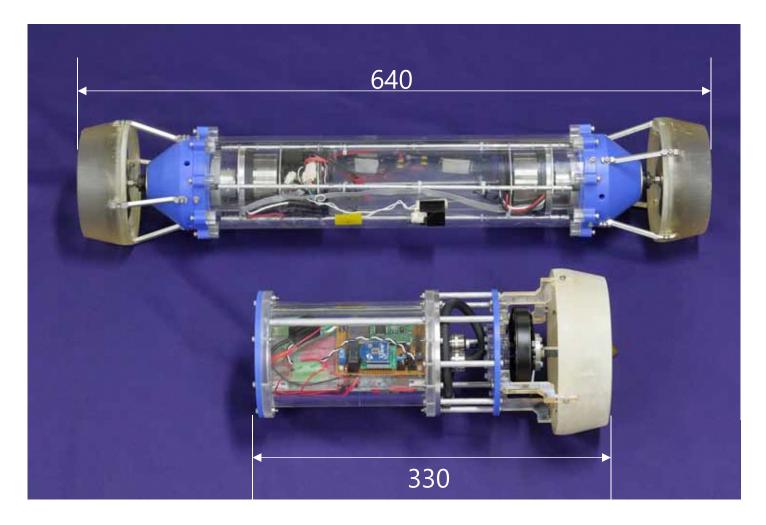
eX8108-105KV

会社名	iFlight社
商品名	iPower eX8108-105KV
KV値	105[rpm/V]
無負荷電流	0.6[A]/22.2[V]
最大出力	750[W]/180[s]
最大電流	24[A]/180[s]
抵抗	$0.186[m\Omega]$
モータ寸法	Φ87[mm] × 24.5[mm]
重量	230[g]



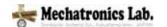
# 試作したスラスタ





質量:約4.38[kg](従来品) 約2.24[kg](新規開発品)

大幅な小型化・軽量化に成功した。



## まとめと今後の課題



- 水中ロボット全体の小型軽量化に重要な、スラスタの小型軽量化を図った。
- ブラシレスモータ(センサ無し)を水中で使用することにより、機構の単純化 を行った。また、高負荷運転にも対応できるものと期待している。
- 今後は、実際に水中ロボットに搭載して運用試験を実施する。

技術開発の状況

④ 姿勢制御システム

#### 課題と開発目標

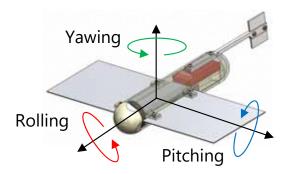
本水中ロボットは、翼と浮力調整器により調査地点まで水平方向に移動した後、スクリュースラスタを使って垂直方向に降下して採泥を行う。そして採泥完了後には、垂直方向に浮上して水面近くまで移動した後、再度、翼と浮力調整器により、湖岸まで帰着する。これら一連の動作の中で、垂直方向への降下・浮上に際しては、スラスタが2本であることから、ロボットの姿勢や位置の制御には工夫を要する。

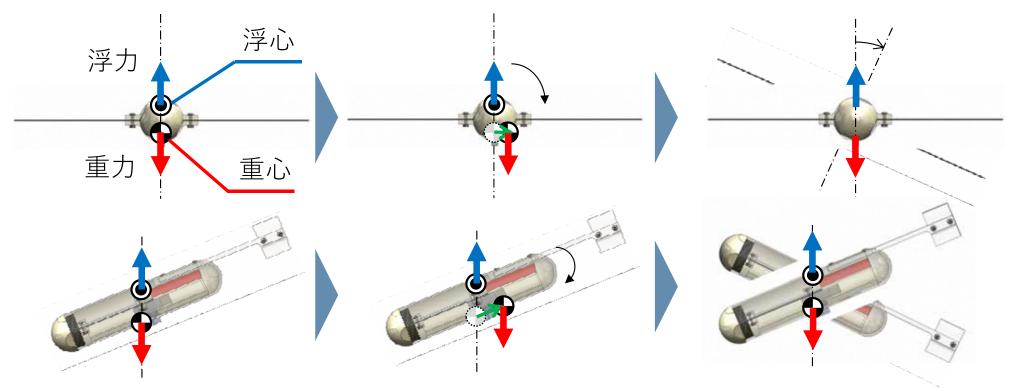
これを実現するためのいくつかの方法について比較検討を行い、最適な手法を選択して垂直移動時の姿勢制御システムを完成させる。

# 重心移動による姿勢制御

Filter William United March

- 重心移動による水中ロボットの姿勢制御
  - 浮心と重心が鉛直方向に整列→姿勢が安定
  - 重心を左右に移動→機体がロール方向に回転
  - 重心を前後に移動→機首上げ機首下げが可能



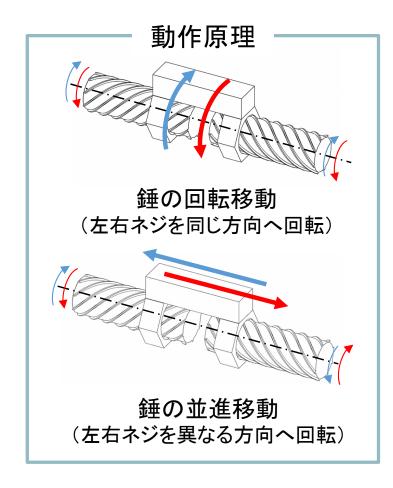


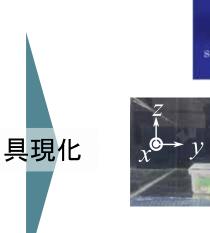


#### 差動駆動ネジ機構を利用した重心移動装置

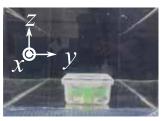


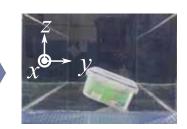
- 差動駆動ネジ機構による重心移動
  - 右ネジと左ネジを対向配置する機構
  - 右ネジと左ネジの回転駆動をナットの回転・並進運動へ変換



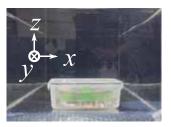


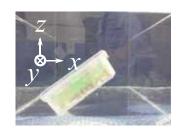






ロール方向の回転運動





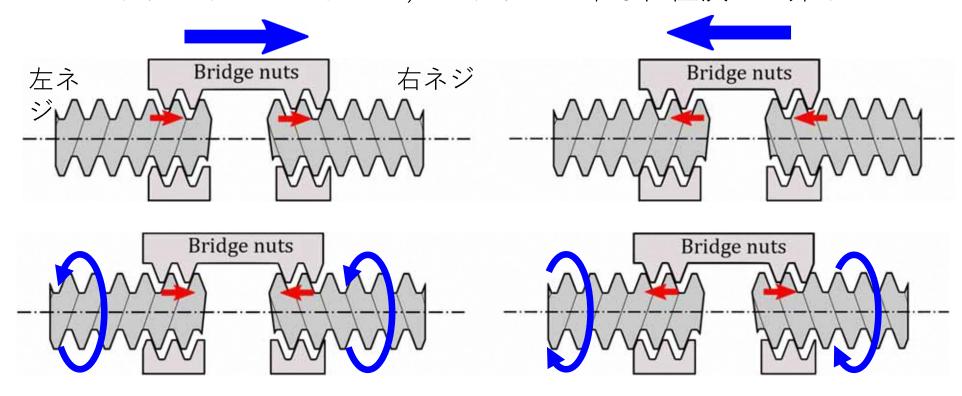
ピッチ方向の回転運動



### 差動駆動ネジ機構のバックラッシュ



- 差動駆動ネジ機構はナットの回転・並進動作で バックラッシュが必ず発生する
  - バックラッシュによって、ナットの正確な位置決めが難しい



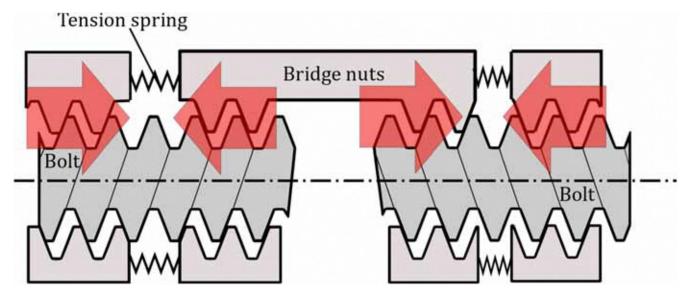
接触面が外側,内側のどちらかに偏っている場合, 錘の回転時にバックラッシュが発生する



### バックラッシュ除去機構



- ダブルナットとバネを用いた、バックラッシュ除去機構を 考案
  - 1つのネジに対してナットを2つ用いるダブルナット方式
  - 2つのナット間をバネでつなぐことで、バネの張力によってダブルナットがネジ山に対し両側から挟み込むように接触



左右ネジの内側・外側の4箇所全てで挟みこむ用に接触が 発生することで バックラッシュを除去できる



#### バネ配置の計算

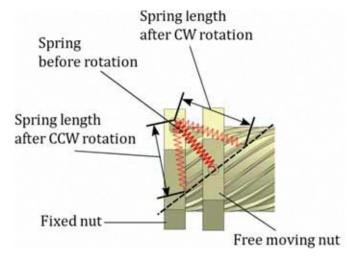


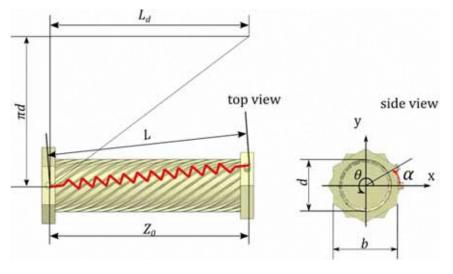
- ネジに対してナットをどちらに回しても(右,左)相対的に距離が増加するバネの配置を計算する
  - バネが常に最小の長さになるために 張力が加わり続ける.
  - バネが自動センタリングを行うように 片側のナットを回転させる
- 3次元空間でバネの固定点の 相対距離を計算する

$$L = \sqrt{\left(\frac{b}{2}\cos(\theta - \alpha) - \frac{b}{2}\right)^2 + \left(\frac{b}{2}\sin(\theta - \alpha)\right)^2 + Z^2}$$

- リード長 $L_{
m d}$ とナット間距離Z の関係

$$\begin{cases} Z = Z_0 + \frac{L_d}{360}\theta & (Right - thread) \\ Z = Z_0 - \frac{L_d}{360}\theta & (Left - thread) \end{cases}$$





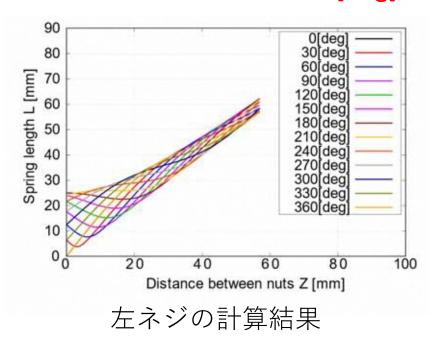


#### • バネ長Lとナット間距離Zの関係を調べる

- 計算における固定パラメータ
  - 初期ナット間距離Z<sub>0</sub>:57[mm]
  - リード長L<sub>d</sub>:57[mm]
  - ナット幅b:25[mm]
  - 有効径d:18[mm]

 $L = \sqrt{\left(\frac{b}{2}\cos(\theta - \alpha) - \frac{b}{2}\right)^2 + \left(\frac{b}{2}\sin(\theta - \alpha)\right)^2 + Z^2}$   $\begin{cases} Z = Z_0 + \frac{L_d}{360}\theta & \text{(Right - thread)} \\ Z = Z_0 - \frac{L_d}{360}\theta & \text{(Left - thread)} \end{cases}$ 

– 初期角度差αを-360[deg]から360[deg]まで30[deg]ずつ変化



下に凸のグラフ線に乗るような条件 にすることで、ばねのセンタリング 効果が発生する

### まとめと今後の課題



- まとめ
  - 水中でロボットの重心位置を変化させることでロボットの姿勢を変化させるための重心移動装置を開発した。
    - 差動駆動ネジ機構を利用した重心移動装置
  - 差動駆動ネジ機構に発生するバックラッシュを除去する機構を提案した。
  - バックラッシュ除去機構のためのネジ配置を理論的に 求めた。
- 今後の課題
  - バックラッシュ除去機構の実装および効果の評価
  - 重心移動装置の小型化
  - 姿勢制御方法の構築

技術開発の状況

## ⑤ 不攪乱柱状採泥器

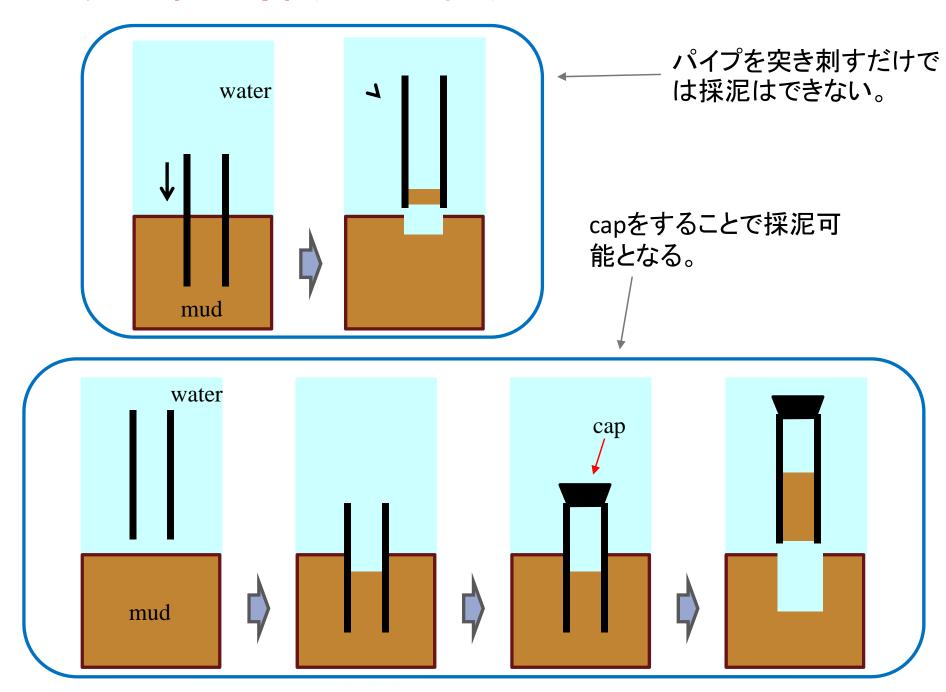
#### 課題と開発目標

本水中ロボットが実現する最も重要な機能が、地層構造を保存したまま湖底泥を採取できることである。

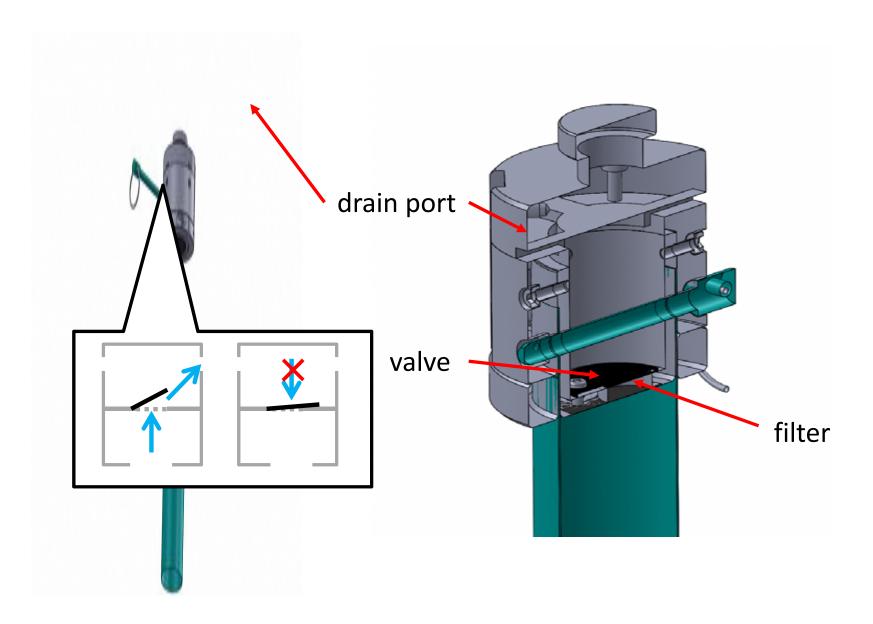
それを実現するために、福島大学では、肉厚0.5mm、直径30mmのステンレス製のパイプを湖底に突き刺す方式の不攪乱柱状採泥器を開発した。これにより、猪苗代湖の典型的な湖底泥において、貫入・抜去時の力が最大50N程度になることを確認している。

本採泥器を目的の水中ロボットに装着できるよう、必要な改造を行う。

## 不撹乱柱状採泥法の開発



# サンプリングパイプのCAP ~不撹乱柱状採泥~



# まとめと今後の課題

• ⑩垂直降下してサンプリングを行う水中ロボットへ、本採泥器を搭載した。

技術開発の状況

⑥水中マニピュレータ

# 課題と開発目標

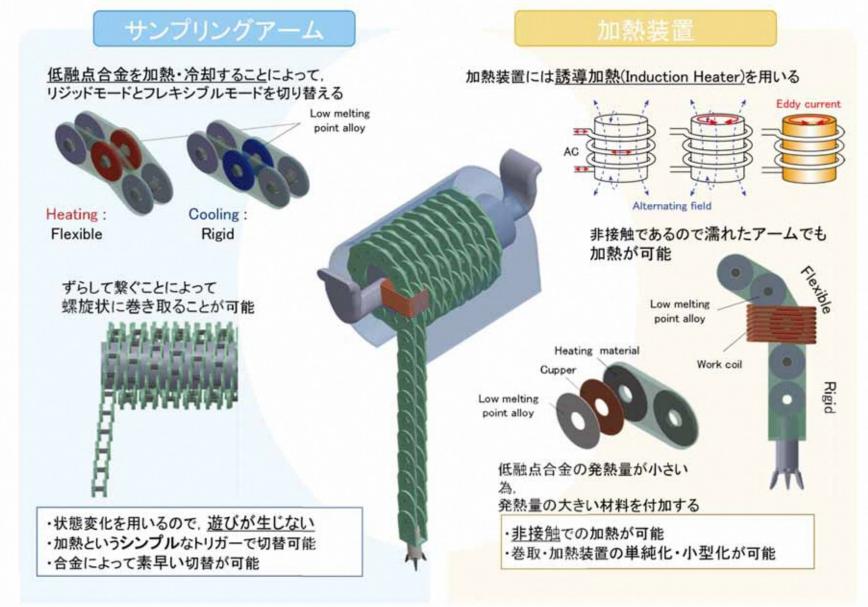
湖底にある粘土塊等を採取するためのマニピュレータを開発する。

水中グライダーの水平方向への移動効率は機体の揚抗比により決まり、これを大きくするためには、水中移動時の抗力係数をできるだけ小さくする必要がある。しかし、多関節マニピュレータは複雑かつ大きな形状を持つことが一般的であり、水中での抗力係数を小さくすることは難しい。それに対して福島大学では、廃炉ロボット開発のひとつテーマとして、原子炉格納容器内の燃料デブリのサンプリングを行うための巻取可能サンプリングアームを開発している。これは直径数100mmのガイドパイプ内を移動ロボットとともに通過して格納容器内に入り、その後、展開して数mの棒状のアームになることのできる巻き取り可能アームである。展開時にアームの剛性を上げるとともに関節のバックラッシュを無くすために、関節部には低融点合金を用いた構造をしており、これを溶融することでフレキシブルモード、固化させることでリジッドモードと、切り替えることができる。

本事業では、この機構を利用して、水中移動時にはコンパクトに巻き取られて抗力が小さく、かつ動作時には大きく展開が可能な水中サンプリング用アームを開発する。

# 低融点合金を用いた巻取り可能アーム

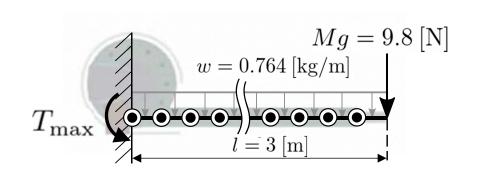


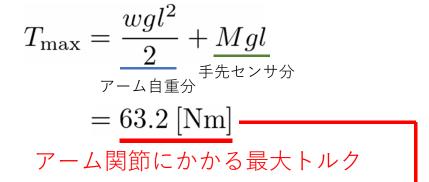


# サンプリングアームの強度評価

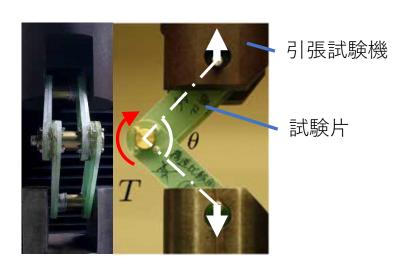


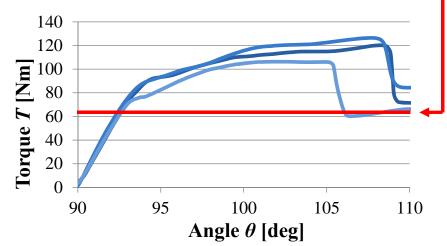
片持ち梁モデルによる最大トルクの計算





▶ 引張試験による関節の破断トルク計測



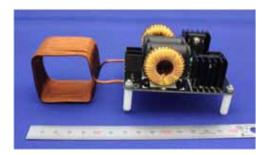


**関節強度が十分**であることが示された

# 誘導加熱装置のセンサレス温度測定



• 加熱装置の試作



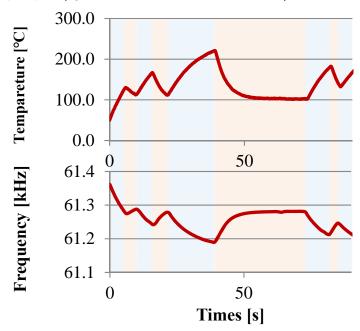
LC共振回路を用いたIHモジュール

- *LC*共振回路の特性
  - 共振周波数はLとCに依存
  - Lはコイルコアの温度に依存

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

共振周波数の変化を用いて コイルコアの温度を測定する

- LC共振回路を用いた 温度測定実験
  - 温度と共振周波数を計測
  - 発熱材をランダムに風冷



*LC*共振回路による**コイルコアのセンサレス 温度測定の実現可能性**が示唆された

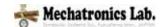
第20回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 優秀講演賞受賞 第十五回競基弘賞2019年レスキュー工学奨励賞 受賞



# まとめと今後の課題



- まとめ
  - 低融点合金を用いたロボットアームの強度評価を行い, 十分な強度を得られることを確認した。
  - 関節を加熱するための誘導加熱装置の共振周波数を利用してコイルコアの 温度を推定する手法を提案した。
  - 実験から共振周波数と温度に相関があることを確認した。
- 今後の課題
  - アームと誘導加熱装置を統合し、巻き取りが可能なロボットアームを構成する。



技術開発の状況

⑦ 基地局との無線通信システム

## 課題と開発目標

既存の無線法の範囲内で、Wi-Fi通信技術を用いて水上での5kmの通信(ビデオレート)システムを実現する。

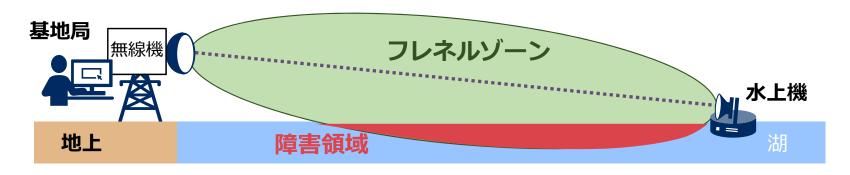
フィールドでの遠隔操縦ロボットの実現に際して、ひとつの大きな課題は無線通信である。現行の電波法では、民生用Wi-Fi通信の空中線電力は低く抑えられており、目標となる5kmの通信距離でビデオレートの品質を確保するのは難しいと考えられてきた。

しかしながら、共同研究先企業との予備的検討の結果、既存のWi-Fi通信機器を用いて上記の通信を達成できる可能性が見えてきた。無線通信では一般に、「フレネルゾーン」と呼ばれるいわゆる"電波の通る空間"をいかに確保するかが重要であり、従来の無線通信機器の開発では、これを確保することを設計の優先基準としてきた。本研究では、このフレネルゾーンをどの程度まで制限しても通信が可能となるか、というこれまでと逆の発想となる点が新たな技術課題であり、Wi-Fi通信システムの新たな知見を得ることが目標である。

### 水上ロボット通信の課題

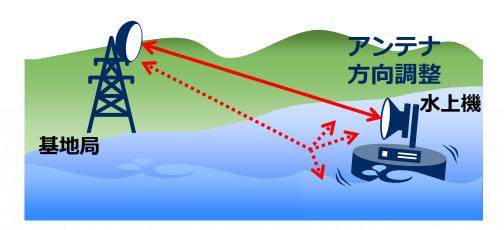
### 課題1:フレネルゾーンの影響

水上機のアンテナが低いため、十分なフレネルゾーンを確保できず無線通信に影響がある



### 課題2:水面反射の影響

水面では反射波を受けやすく、無線通信の 品質が劣化する



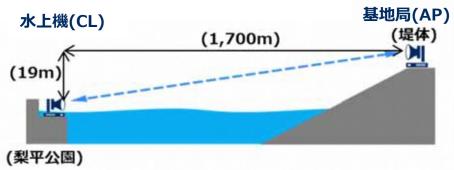
### 「課題3:水面の揺れの影響

水上機のアンテナの方向が変動すること により、無線通信に影響がある 横揺れ変動 水平方向の 位置変動

### 2020年度 水上通信 検証地

### 摺上川ダム

(通信距離:1,811m)

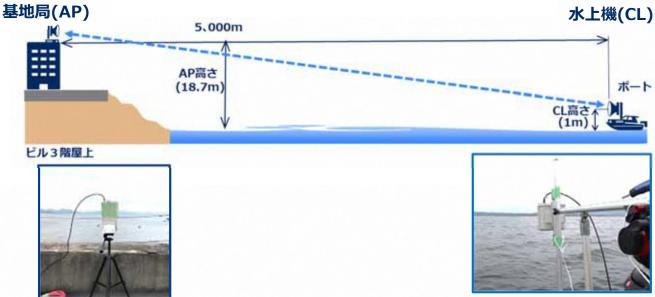


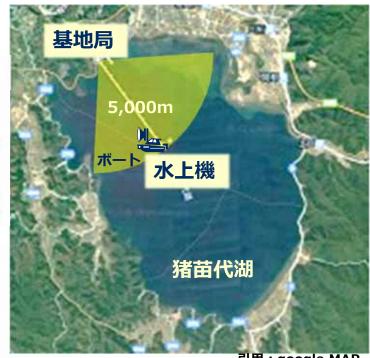


引用: google MAP

### 猪苗代湖

(通信距離:5,000m)





引用: google MAP

## 2020年度 猪苗代検証

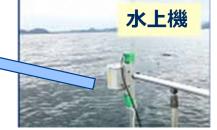
### 水上通信 距離5,000mのビデオレート伝送





基地局

## **伝送容量 5 M[bps]** の通信を確認



cabl	е		ス	:	2dE	3
	_	=	7.	_	-	

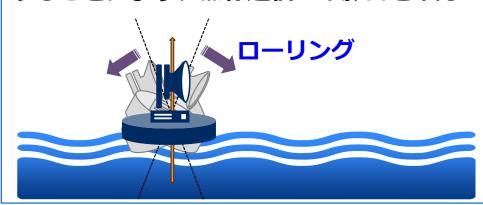
			AP(地上	_機)	CL (水上	:機)	AF	Ò→CL方向		AF	CL方向		フレネ	AP→	$CL \rightarrow AP$	RSL
フレネル	フレネル	水平距離	高さ	ATT	高さ	ATT	CL側	スルーフ	プット	AP側	スルー	プット	ル影響	CL方	方向	差分
断面積[%]	障害距離	F 7	(三脚)	AII	同C	AII	RSL	X // /	/	RSL	7,7	<i>7 7</i> 1	なしの	向	RSL差分	(AP-
断風惧[70]   [%]	[m]	[m]	[dB]	[m]	[dB]	[dBm]	[Mbps]	lost[%]	[dBm]	[Mbps]	lost[%]	[dBm]	[dB]	[dB]	[dB]	
23.80	39.60	5,083	18.7	0.0	1.00	0.0	-85	4.74	17	-91.4	5.97	0	-85.6	-0.6	-5.8	-6.4



### ローリング(ピッチング)の影響確認

### ローリングによる通信影響を確認

波や風の影響で水上機のアンテナが変動 することにより、無線通信への影響を確認





検証時のボート揺れ映像

### ▮波が少ないダム湖との比較

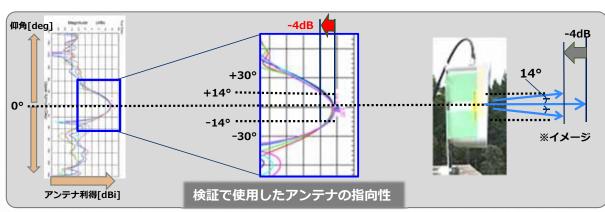
		_, _,		AP (地上	CL (水上	.機)	AF	AP←CL方向						
	フレネル 断面積[%]	フレネル 障害距離	水平距離 [m]	高さ (三脚)	ATT	高さ	ATT	CL側 RSL	スルーフ	プット	AP側 RSL		スルー	プット
	[%]	[%]	נייין	[m]	[dB]	[m]	[dB]	[dBm]	[Mbps]	lost[%]	[dBn	_	[Mbps]	lost[%]
猪苗代湖	25.90	19.50	1,806	18.7	0.0	0.30	0.0	-82	17.1	0.31		-87		
摺上川ダム	25.90	19.30	1,811	18.9	0.0	0.30	0.0	-80	21.9	0		-83	23	0

<検証で使用した

簡易デジタル角度計測器> →**型番:DPM-1**(東栄工業(株))

検証時は±10°範囲 を表示





### (レベル差)

#### 同じ水面でも猪苗代湖が4dBの劣化

#### ローリングによりアンテナ指向性が 変化しアンテナ利得に影響

(船傾き) (利得減衰量)

± 5°:-0.5dB 1 ±10°: -1.5dB

±14°: -4.0dB

±20°:-9.0dB

アンテナ指向性によりアン テナ利得減衰するが、

RSLの値は時間平均値のた め波の周期に影響して変化

する。

### 水上通信の影響

### 通信環境による違い

山ノ入りダム(水上通信)とロボットテストフィールド(陸上通信)を比較 フレネル障害度の類似ポイントの受信レベルを比較すると陸上より水上の方が 約4.7~6.8[dB]程度の損失を受けている。



#### フレネル障害度による、水上通信時の受信レベル影響を反映しヒートマップ作成

ケーブルロス:5dB含む

										_								$\overline{}$
				AP (均	也上機)	CL (オ	×上機)	А	P→CL方向	]		CL→AP方	向	フレネル影	AP→CL	CL→AP		山の入りダム
	フレネル 断面積	フレネル 障害距離	水平 距離	高さ	ATT	高さ	ATT	CL側 RSL	スルー	プット	AP側 RSL	スルー	-プット	響なしの RSL (理論値)	方向 RSL差分	方向 RSL差分	RSL差分 (AP-CL)	vs RTF (CL→AP方向)
	[%]	[%]	[m]	[m]	[dB]	[m]	[dB]	[dBm]	[Mbps]	lost[%]	[dBm]	[Mbps]	lost[%]	[dBm]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
山ノ入りダム(水上)	22%	59%	412	3.5	14	0.5	0	-82	20	0.75	-89	17	0.62	-81.1	-0.9	-7.9	7.0	
ロボットテストフィールド(陸上)	21%	58%	1000	5.5	0	0.8	0	-75	44.9	0.77	-78	43	0.09	-74.8	-3.2	-3.2	0.0	-4.7
山ノ入りダム (水上)	25%	60%	412	3.5	14	0.4	0	-84	8	0.00	-92	5	0.00	-81.1	-10.9	-10.9	0.0	
ロボットテストフィールド(陸上)	25%	60%	1000	5.5	0	0.6	0	-77	30	0.83	-79	30	0.20	-74.8	-4.2	-4.2	0.0	-6.7
山ノ入りダム (水上)	19%	57%	412	3.5	18	0.6	0	-84	6	0.00	-92	5	0.00	-85.1	-6.9	-6.9	0.0	
ロボットテストフィールド(陸上)	15%	57%	50	1.1	0	0.3	0	-43	50	0.93	-48	55	1.00	-45.9	-2.1	-2.1	0.0	-4.8
山ノ入りダム (水上)	26%	75%	410	2.5	8	0.5	0	-78	23	0.94	-85	23	0.00	-75.1	-9.9	-9.9	0.0	
ロボットテストフィールド(陸上)	26%	77%	50	0.8	0	0.2	0	-48	47	1.10	-53	50	0.73	-48.8	-4.2	-4.2	0.0	-5.7
山ノ入りダム (水上)	32%	89%	407	1.5	8	0.5	0	-85	5	0.00	-92	6	0.00	-75	-17	-17	0.0	
ロボットテストフィールド(陸上)	32%	86%	50	0.6	0	0.2	0	-53	46	0.74	-59	50	0.99	-48.8	-10.2	<b>/-10.2</b>	0.0	-6.8

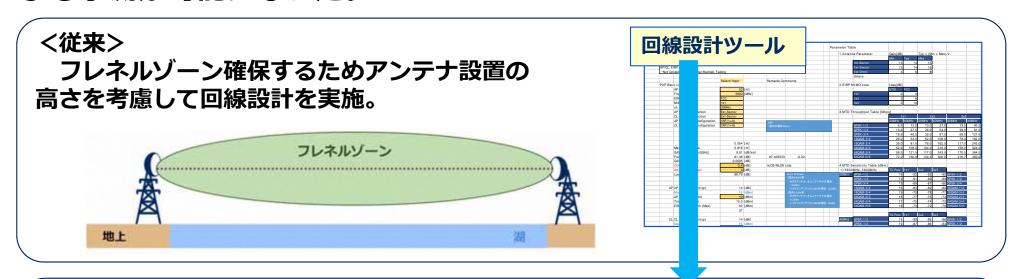
① 基地局の RSL実測値

② 計算から求めた フレネル影響ない ときの各地点の RSL理論値

③ 理論値 との差分

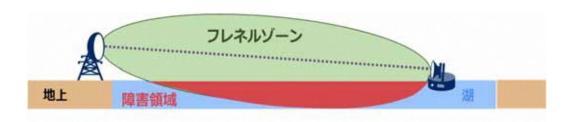
④ 陸上通信時との差分 (③水上-3陸上)

フレネルゾーン影響があるアンテナ高さでも回線設計シミュレーションに よる予測が可能になった。



#### <研究成果>

フレネルゾーンが十分に確保されていない状 態でもアンテナ設置環境により設置ポイントの 受信レベル状態を予測。





### 今後について

### 無線パネルの設計

水中ロボット搭載用に無線パネルを設計。

**<スペック>** 

WiFi規格: IEEE802.11n準拠

周波数带 : 5.470GHz ~ 5.725GHz(W56)

インタフェース: 有線LAN GbE x1 入力電源 : DC+12V/DC+24V

パネル外形 : 155mm x 125mm (コネクタ突起部含まない)



### ビジネスへの活用

以下のようにフレネルゾーンを十分確保できない 機器の設置環境において、回線設計の段階より通信 状態を推定することが可能になった。



今回の成果である、「フレネルゾーンの影響を 反映した回線設計」「小型化パネルの設計」は、 漁業養殖に活用できると考える。特殊環境下で の無線通信の活用を視野に検討をしていく。

#### 商品化に向けて想定される活用事例

沖合にある養殖場のデータ収集・分析をタイムリーに実施できる プラットフォームを提供し、養殖業の生産効率化を実現する



技術開発の状況

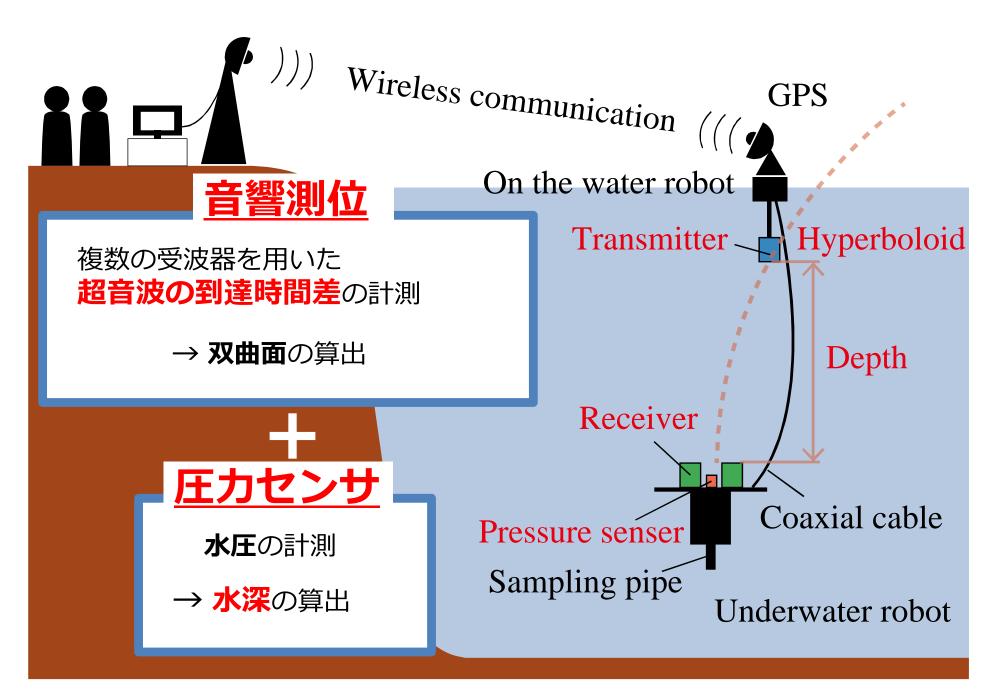
⑧ 水中でのロボット位置計測システム

## 課題と開発目標

超音波を利用した新しい位置計測システムを実現する。

水中では電波は使えないため、これまで水中での位置計測には超音波が用いられてきており、SBLやSSBLと呼ばれる方法が開発されてきた。しかしいずれも大型であり、本プロジェクトで開発する水中ロボットに搭載するのは難しいものとなっている。そこで、水上機に送信器を1台、水中のロボットに受信器を3台以上設置した新たな水中位置計測システムを開発する。また、計画している水中ロボットシステムでは、遠隔操縦のために実時間ビデオ通信を行う必要性から、水上機を設置して水上・水中機間に光ファイバを設置することを計画しており、これを利用して、水上機のGPS測位信号を光ファイバにより水中機に送ることで、水中機は超音波測位と合せて絶対測位を実現する。

## 開発するシステム

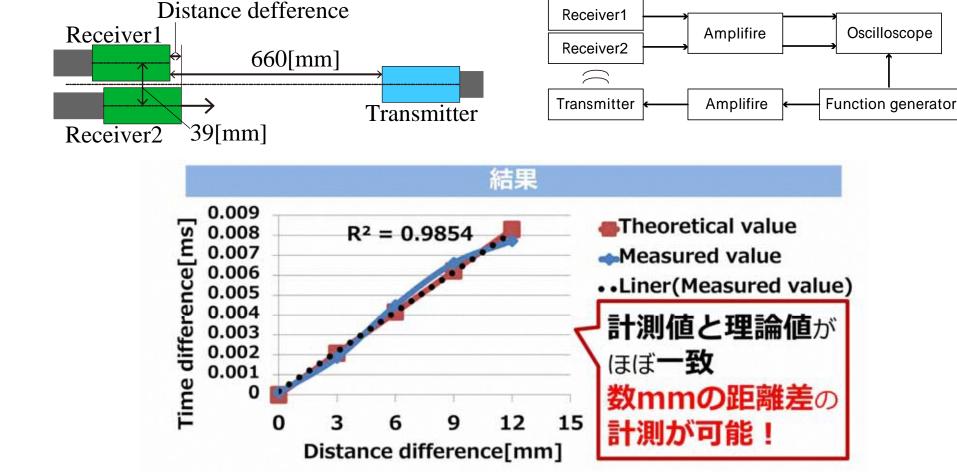


# 音響測位の精度

- Q. 水深100[m]で**±1[m]の精度**を得るには?
- A. **距離差5[mm]**を計測しなければならない

## 数mmの距離差の計測が可能が確認する

2本の受波器R1, R2を送波器から等距離に置いて, R2を3[mm]ずつ動かし, 各位置での超音波の到達時間差を比較した

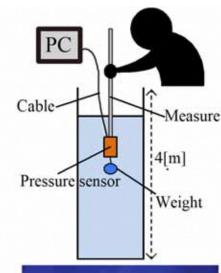


# 水深の計測精度

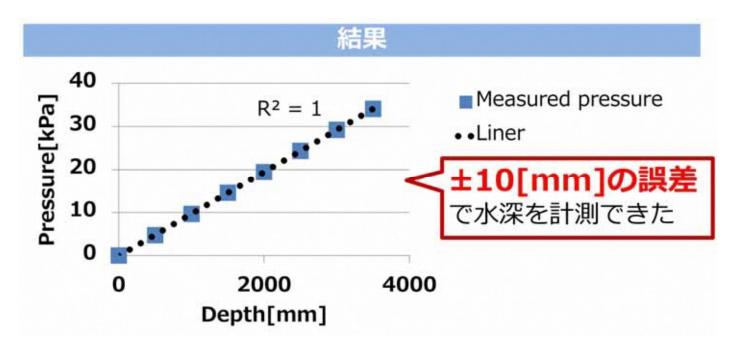
長さ4[m]の塩ビパイプに圧力センサ (Keller America製30X)を取付けた巻尺付 容器を沈めた 水面から500[mm]刻みで圧力を記録した

Spe	ecific	ation	of	30X
9		acioni	0.	00/1

Pressure range	0~1.5[MPa]
Accuracy	±0.1%FS(digital output)
Available temperature	-40∼120℃







## まとめと今後の課題

- 超音波を用いた、新しい水中での位置計測システムの実現に向けて、使用する超音波デバイスによる音響測位の精度を検証したところ、数mmの精度での計測が可能なことが確認された。
- 水圧センサを用いた水深計測を行ったところ、±10mmの精度での計測が可能なことが確認された。

技術開発の状況

9 光カップリング

# 課題と開発目標

水中では、電波が使用できないことから、高速通信を行う手段は極めて限られる。本水中ロボットでは、ロボットが撮影した動画をリアルタイムで確認するために、ロボットと船上を光ファイバケーブルで接続している。動画撮影を行うカメラは、当然のことながらロボットの筐体内に設置されており、光ファイバケーブル接続を実現するためには、水中ロボットに貫通孔が必要となっていた。本事業で開発している水中ロボットの重要な基本コンセプトのひとつは、"穴を開けない"ということである。これは、万一の水漏れによるロボットの故障を防ぎ、高い信頼性を維持するために必須と考えているからであるが、これまでこれを実現する手段はなかった。

そこで、光を用いてロボット内外の通信を実現する、新しい「光カップリング」 の実現可能性について検討を行う。目標は、レンズ等を用いずに、できる限 りシンプルな構造で実現することである。

# 使用した装置



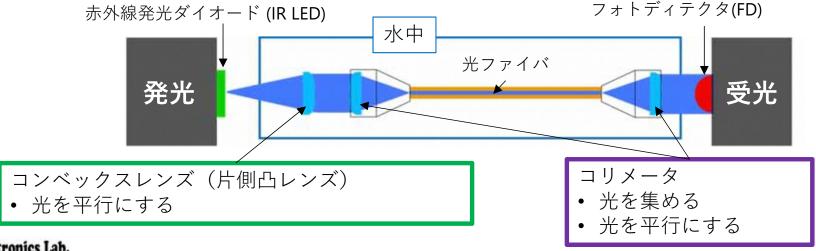
• Fraunhofer Heinrich-Hertz Instituteの光無線機器を活用

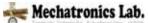


サイズ [mm]	W87.2 × D45.0 × H114.0
質量 [kg]	約0.65
電源 [V]	DC12
通信 波長	近赤外線

想定される一般的な光通信の構成

#### レンズ等を多用するため水没状態での運用が難しい





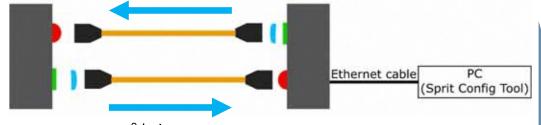
# 水中での光通信実験



- 光無線通信機を用いた実験
  - コンベックスレンズやコリメータ等の光学機器を用いない 通信可能性の検証
  - 水やアクリル等を介した,実環境に近い条件での光通信実験

### 基本方式の場合

サブ機 ダウン側:602 [Mbps] <sub>メイン機</sub>



アップ側:598 [Mbps]

光ファイバのみの場合

アップ側:368 [Mbps]



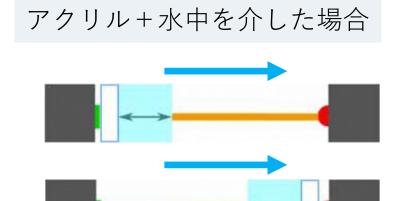
それぞれの通信速度(アップ側,ダウン側)の影響は独立していると検証済みのため、アップ側のみで検証

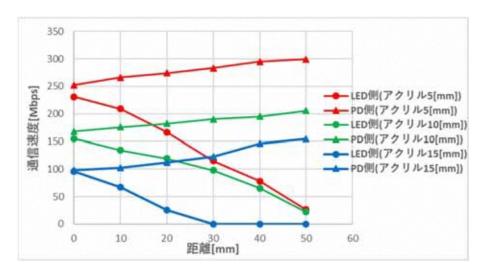
### 非常に高速な通信速度が 保たれることを確認

メディア	通信速度
<i>/ / / / / / / / / /</i>	[Mbps]
DVD	9.8
BD	54
地上デジタル放送	17
BSデジタル放送	24



- ・光無線通信機を用いた実験
  - コンベックスレンズやコリメータ等の光学機器を用いない 通信可能性の検証
  - 水やアクリル等を介した、実環境に近い条件での光通信実験





- 水およびアクリルを介した状態で通信が可能であることが確認された。
- 素子と光ファイバの距離は通信速度に影響を及ぼす。
  - ✔ 特に、LEDは距離を大きくすると通信速度が大きく低下する。

## まとめと今後の課題



- 水中で、コンベックスレンズやコリメータを使わずに光ファイバーのみで通信を行うことに成功し、DVD以上(約10 Mbps)の高速通信が可能であることを確認した。
- 水中ロボットの内外の通信を無開口で行う新しい方法として活用できる可能性が高く、その実装を行っていく予定である。

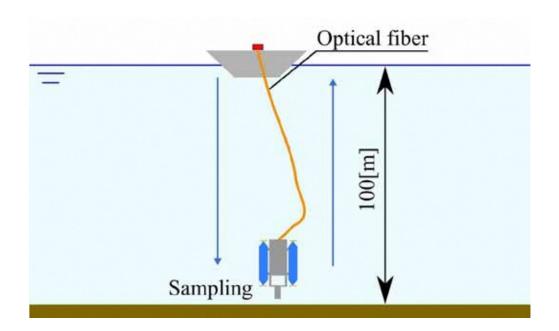
技術開発の状況

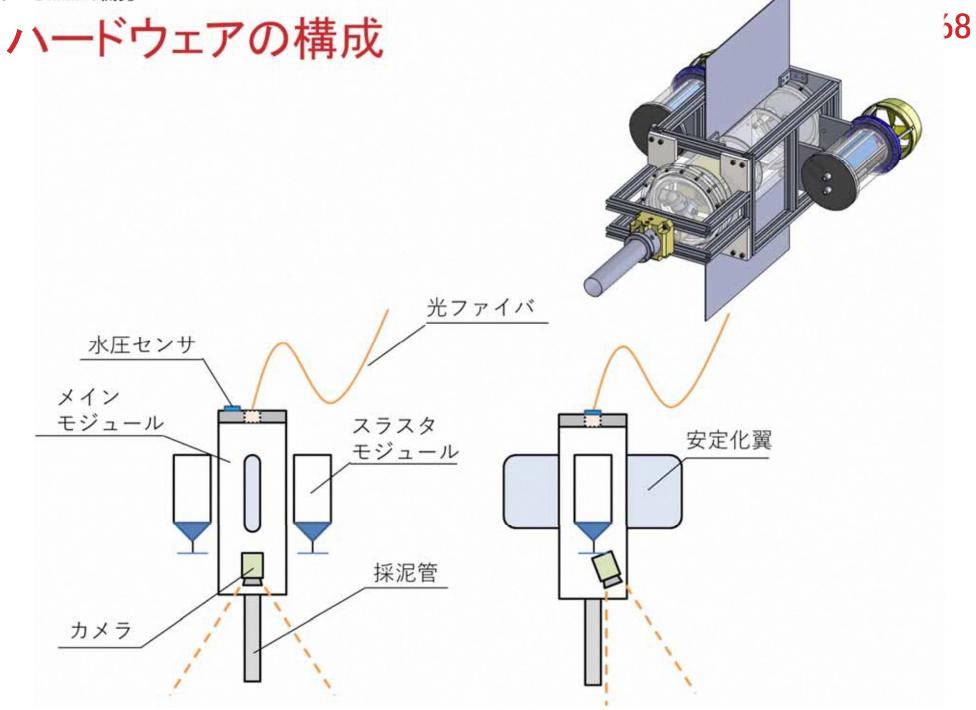
⑩ T-TURTLE MINI の開発

# 課題と開発目標

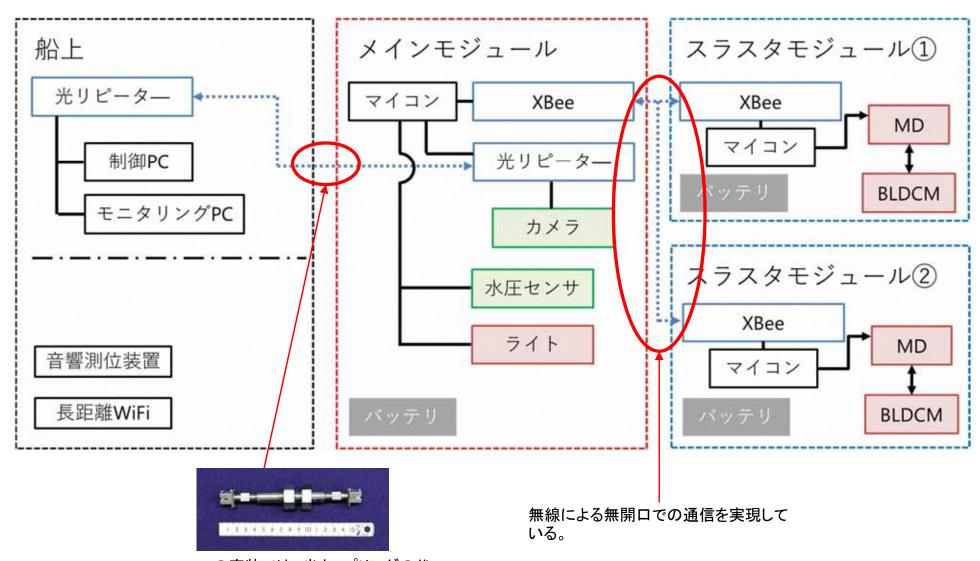
開発した要素技術の一部を用いて、実際にフィールドテストを行うための水中ロボット(T-Tutle mini)を試作する。③採泥用小型スラスタ、⑤不攪乱柱状採泥器、である。

本ロボットの運用イメージは下図の通りであり、水上の母船から垂直に降下 して採泥を行う。



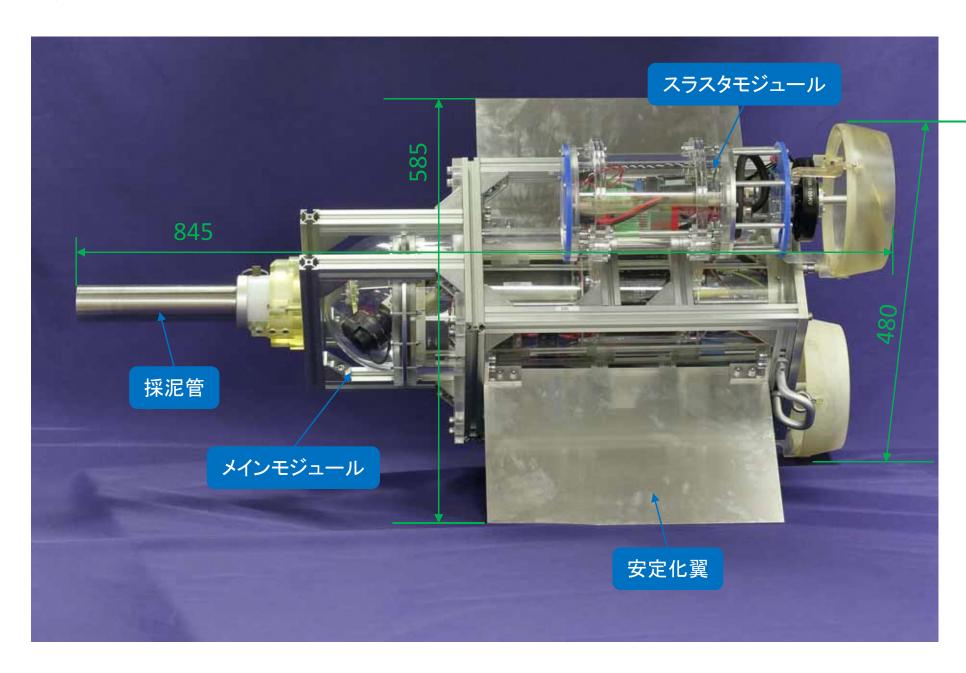


### ブロック図



T-Turtle miniの実装では、光カップリングの代わりにフィードスルー(日星電気株式会社製)を使用した。

# 製作中の T-TURTLE mini



# まとめと今後の課題

- 開発した要素技術の中で、③採泥用小型スラスタ、⑤不攪乱柱状採泥器、 を統合し、船で目的の位置まで移動し、船上からロボットを水中に投下し て湖底泥のサンプリングを行う水中ロボット(T-Turtle mini)を開発した。
- 猪苗代湖での実験を行う予定である。