

海洋資源調査のための群AUV

東京電機大学 未来科学部 ロボット・メカトロニクス学科

准教授 藤川 太郎*

東京電機大学 工学部 情報通信工学科

教授 鈴木 剛

東京電機大学 理工学部 電子工学系

教授 田中 慶太

* 説明者

令和2年10月22日

従来技術とその問題点

世界規模での人口増加や途上国の経済発展に伴い、世界のエネルギー需要は拡大している。このエネルギー需要の拡大に伴い、石油や天然ガスなど海洋からの資源生産量も拡大の一途をたどっている。これら石油や天然ガス以外にも、メタンハイドレート等の資源が領海や排他的経済水域（EEZ）に埋蔵されていると言われていたが、国内には海洋資源の開発フィールドが存在していないのが現状である。このような海洋開発分野の獲得に向けた国内での取り組みについて、平成28年には、国土交通省生産性革命に「j-Ocean」として位置付けられ、海洋開発分野で用いられる船舶等の設計や操業など、幅広い分野で海事産業の技術力向上を図る取り組みが強力に推進されはじめた（国土交通省、平成29年12月）。また、近年では、低炭素社会実現のために、石油などの限りある化石燃料に頼らない再生可能エネルギーへの転換も課題となっているが、中でも電気エネルギーを支える発電・送電施設建設には、銅などの金属が不可欠なため、低炭素社会の実現のためにはこの金属資源の継続した供給が前提となっており、将来においては石油資源よりも金属資源の不足が懸念されている（内閣府、平成30年5月）。

従来技術とその問題点

このような課題を解決するため、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）の研究開発課題のひとつである「次世代海洋資源調査技術」の中で、高性能な自律型無人潜水機（AUV: Autonomous Underwater Vehicle）が開発された。これは、広大な海域から海底鉱物資源である海底熱水鉱床を発見しようとするものであり、3台のAUVと洋上の中継器を同時運用することで全自動海底調査を世界で初めて実現している。

【AUVと洋上中継器の特徴】

- 航行型AUV（全長4m, 空中重量約800kg）: 100km²規模の海域で海底資源を概査
- ホバリング型AUV（全長1.2m, 空中重量約270kg）: 航行型AUVである程度絞り込んだ10km²規模の海域を準精査
- 洋上中継器: 母船向けの無線LANと衛星通信, AUVに対する音響通信と音響測位

従来技術とその問題点

【ホバリング型AUVの特徴と課題】

○ 詳細調査のための海底面への接近が可能

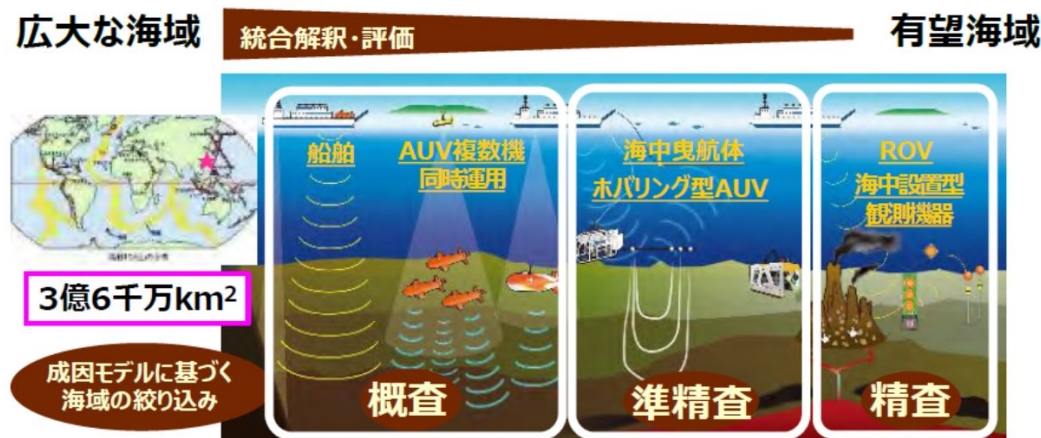
⇒浮上するためには搭載している2個のバラスト(8kg/個)を順次リリースしなければならず、陸上でのこのバラストの取り付け作業も重労働となっている。

○ 6基のスラスタで移動し、画像解析用のステレオカメラなど様々な機器を搭載

⇒いずれも外部に露出しているために防水処理が必須な構造である。

○ 航行型AUVと同様に洋上中継器との音響通信によりコントロール

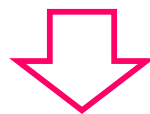
⇒その作業エリアは洋上中継器を起点として限定されている。



新技術の特徴・従来技術との比較

本技術は、海洋資源調査のためのホバリング型AUVに着目し、

1. 外殻(回転殻)と内部の駆動制御装置で構成されるシンプルな水密機構により、外殻を回転させることのみで沈降・浮上および水平移動が可能な小型AUVを開発し、
2. これを群制御により複数台運用することで調査範囲を拡大するシステムを構築する。



AUV単体 ⇒ 制御装置やセンサ類を全て水密機体に内蔵可能

システム全体 ⇒ 高効率で海域を準精査することが可能

新技術の特徴・従来技術との比較

提案するAUVは、

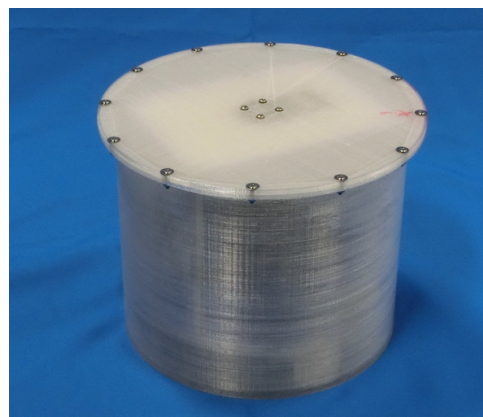
- 駆動装置にスラスタを用いない（水密構造のため駆動部の外部露出がない）
- 推進力を得るための外殻の回転方向を変えるだけで浮上・沈降および水平移動が可能である
- 群制御による集団運用が可能である

という新規性を有しており、その有効性が期待される。

新技術の特徴・従来技術との比較

【開発中の小型AUVの構造】

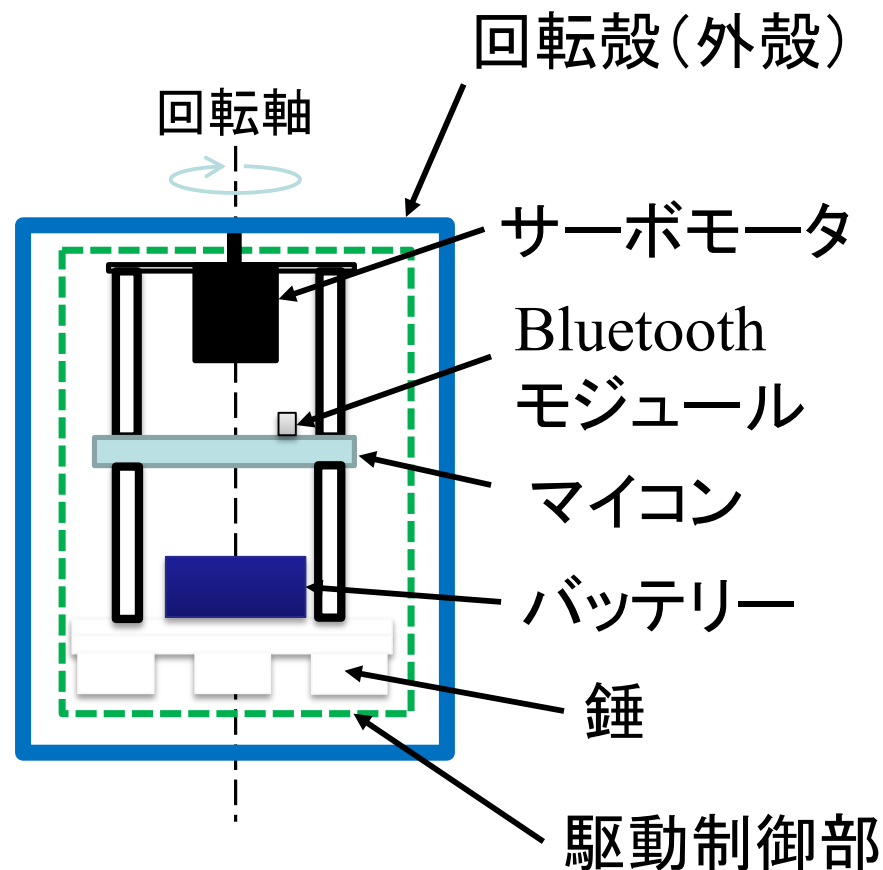
参考: 2019年度新技術説明会 (<https://www.youtube.com/watch?v=iZ8UGIFM3tk>)



【試作機】
直径: 150mm
高さ: 100mm
質量: 約1.6kg

回転殻と駆動制御部のみの
シンプルな構成

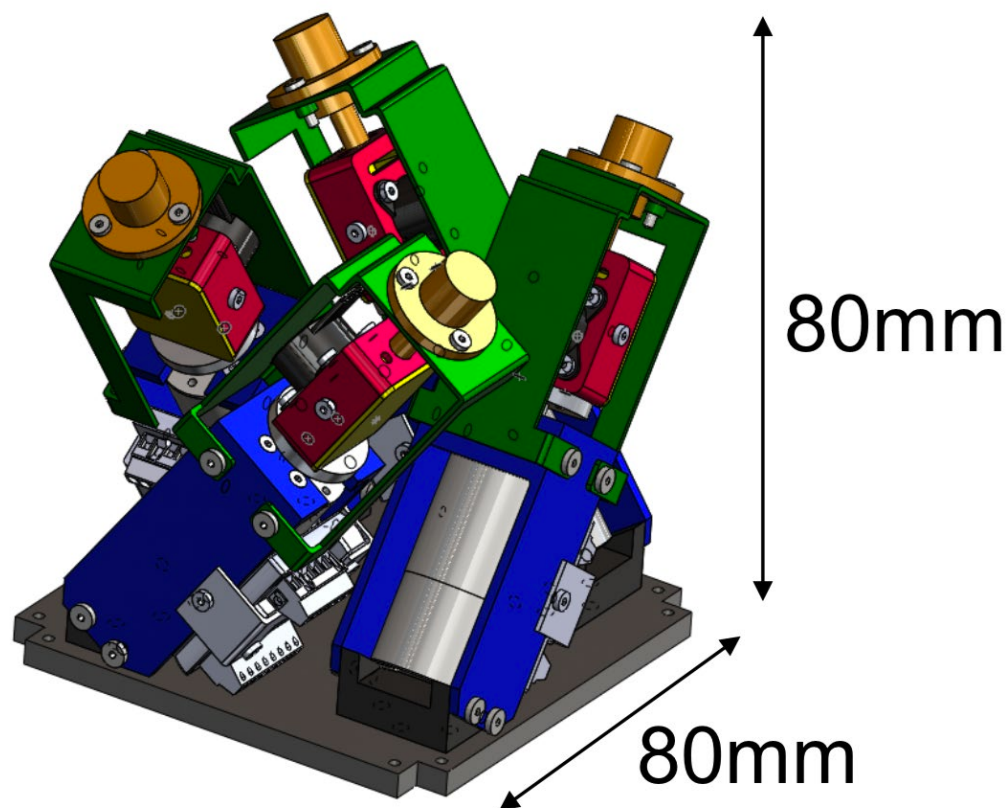
回転殻と駆動制御部の
慣性モーメントの差で回転



新技術の特徴・従来技術との比較

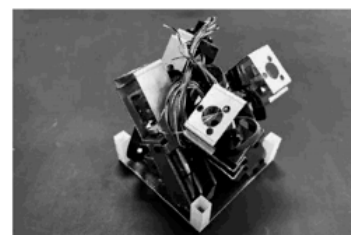
【コントロールモーメントジャイロ (CMG) による姿勢制御システム】

参考: 2019年度新技術説明会 (<https://www.youtube.com/watch?v=8OC5TY5LFAE&t=5s>)



- 小型衛星に搭載されている装置
- ジャイロ効果により, 様々な姿勢へ制御可能

小型衛星の姿勢 高速制御



東京電機大学の田中慶人准教授は、人工衛星などの姿勢制御に使う「コントロールモーメントジャイロ」の制御方法を開発した。姿勢制御の計算にかかる時間が約1秒減るため、計算の負担が軽減される。多数の小型衛星を運用する「コンステレーション」に役立つ可能性があるという。今後は宇宙空間で性能を証明する予定だ。

ジャイロは回転する円盤の軸の向きを動かしてトルク（回転力）を生み、姿勢制御に用いる仕組み。国際宇宙ステーション（ISS）でも使われている。他の制御方法には、円盤の回転速度を調整させるリアクションホイールや、地磁気を利用する「磁気トルク」などがある。

ジャイロは消費電力が大きい。大きなトルクを得られるため姿勢を高速で制御できる。研究チームが開発した小型衛星「HATO SAT」は、従来の制御装置を搭載する20x20cm程度の衛星に比べて、消費電力が約10分の1になる。消費電力が少なくなると、衛星の寿命が延びる。また、消費電力が少なくなると、衛星の寿命が延びる。また、消費電力が少なくなると、衛星の寿命が延びる。

研究チームは、小型衛星の姿勢制御に使う「コントロールモーメントジャイロ」の制御方法を開発した。姿勢制御の計算にかかる時間が約1秒減るため、計算の負担が軽減される。多数の小型衛星を運用する「コンステレーション」に役立つ可能性があるという。今後は宇宙空間で性能を証明する予定だ。

ジャイロは回転する円盤の軸の向きを動かしてトルク（回転力）を生み、姿勢制御に用いる仕組み。国際宇宙ステーション（ISS）でも使われている。他の制御方法には、円盤の回転速度を調整させるリアクションホイールや、地磁気を利用する「磁気トルク」などがある。

ジャイロは消費電力が大きい。大きなトルクを得られるため姿勢を高速で制御できる。研究チームが開発した小型衛星「HATO SAT」は、従来の制御装置を搭載する20x20cm程度の衛星に比べて、消費電力が約10分の1になる。消費電力が少なくなると、衛星の寿命が延びる。また、消費電力が少なくなると、衛星の寿命が延びる。また、消費電力が少なくなると、衛星の寿命が延びる。

東京電機大、連携運用へ寄与も

「宇宙」新技術説明会 東京電機大 田中慶人准教授

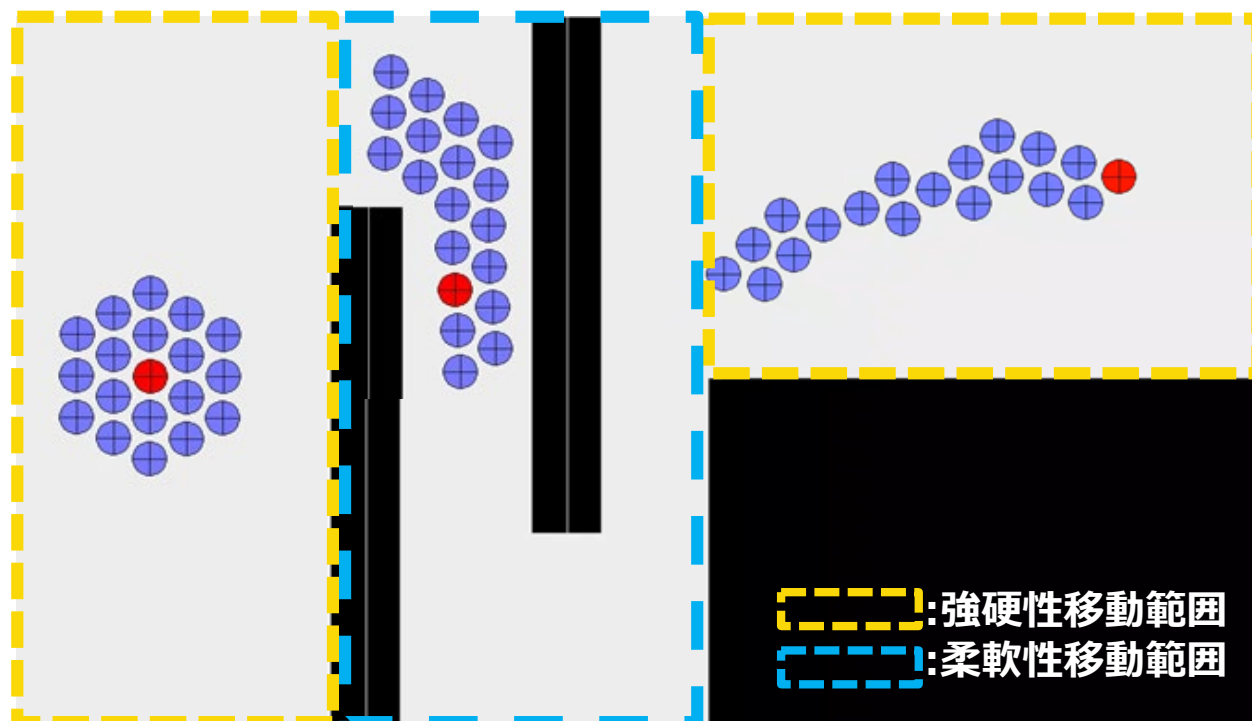
ページ 2/100 田中慶人准教授

新技術の特徴・従来技術との比較

【物質の三態(個体・液体・気体)に基づく熱力学モデルによる群制御】

参考: 2016年度新技術説明会 (https://shingi.jst.go.jp/var/rev0/0000/6509/2016_dendai_6.pdf)

- ・ 強硬性と柔軟性が両立
- ・ 集中制御と分散制御, 大域的通信と局所的通信が可能



シミュレーションによる群ロボットの移動の様子



群制御を実装した移動ロボット例

想定される用途

TDU 海洋開発 構想

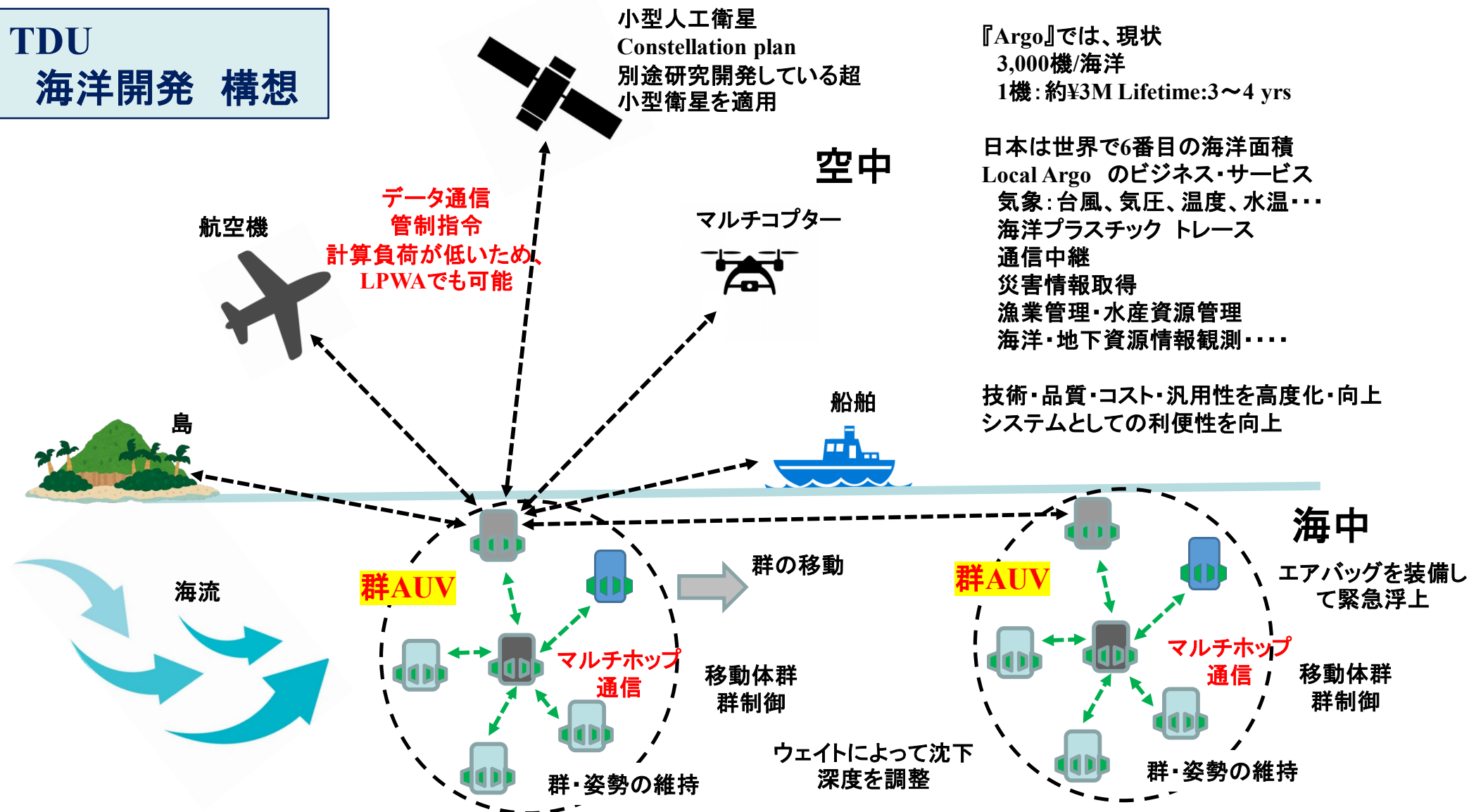
小型人工衛星
Constellation plan
別途研究開発している超
小型衛星を適用

『Argo』では、現状
3,000機/海洋
1機: 約¥3M Lifetime: 3~4 yrs

空中

日本は世界で6番目の海洋面積
Local Argo のビジネス・サービス
気象: 台風、気圧、温度、水温...
海洋プラスチック トレース
通信中継
災害情報取得
漁業管理・水産資源管理
海洋・地下資源情報観測...

技術・品質・コスト・汎用性を高度化・向上
システムとしての利便性を向上



想定される用途

宇宙 低軌道



小型人工衛星 群制御

計算負荷が低いLPWA

全ての群制御は、相互の通信量が
少ない方が有利。
必要によって、自律・分散・集中制御
ができる方が有利。

空中

マルチコプター 群制御



TDU

海洋開発 群制御イメージ

海中内での電波による通信は、最大でも
50m。
深度方向Z、これと垂直の方向Xに複数
の浮遊移動体を配して群制御することで
通信ネットワークを構築できる。

開発する群制御用測距モジュールは共
通で利用可能。

AUV
群制御

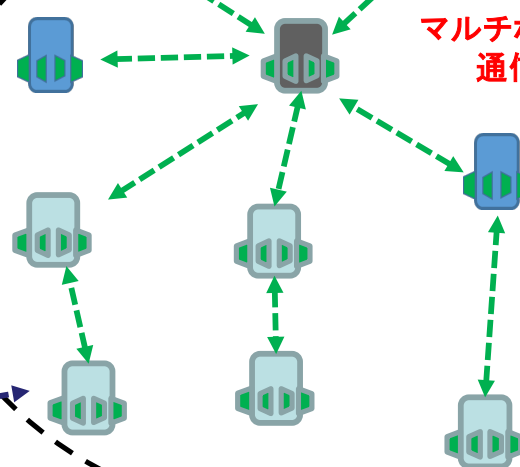
海流



観測

群・姿勢の維持

マルチホップ
通信

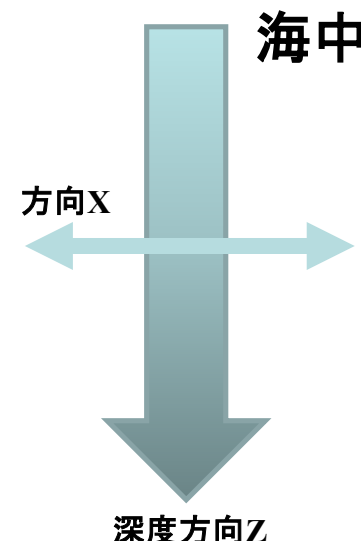


ウェイトによって沈下深
度を調整

移動に伴うエネルギー
消費を極小に抑える。

それぞれの浮遊移動
体は、海洋・海中観測
やプラスチックごみ(深
度によってサイズが変
化する)の流れを観測
浮遊移動体ごとに搭
載する観測機器を選択
する。

方向X



海中

深度方向Z

実用化に向けた課題

- 小型AUVは開発段階
⇒ 外殻の回転動作は検証済み. 浮上・沈降実験や姿勢制御手法の構築が必要. また, 完全密閉構造のため, 給電方法などの検討も必要.
- 群制御の有効性は実証済みであるが, AUVへは未実装
⇒ 小型AUVの開発後に実装予定

企業への期待

現段階では基盤となる要素技術のブラッシュアップを目的とした研究・開発を進めており、今後は試作機・実機の開発・設計・製作、さらに試験、品質確認等が必要となる。

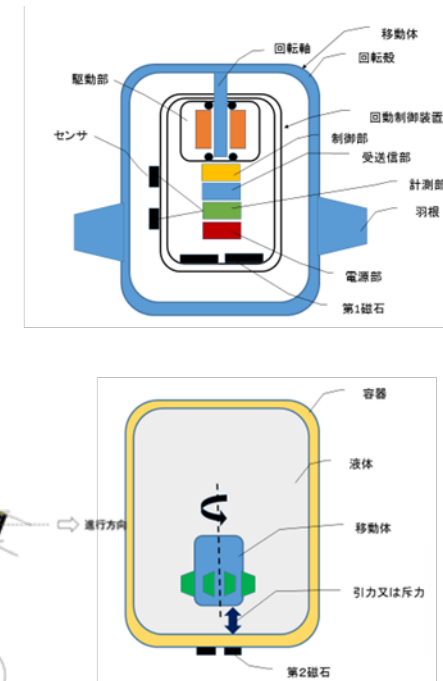
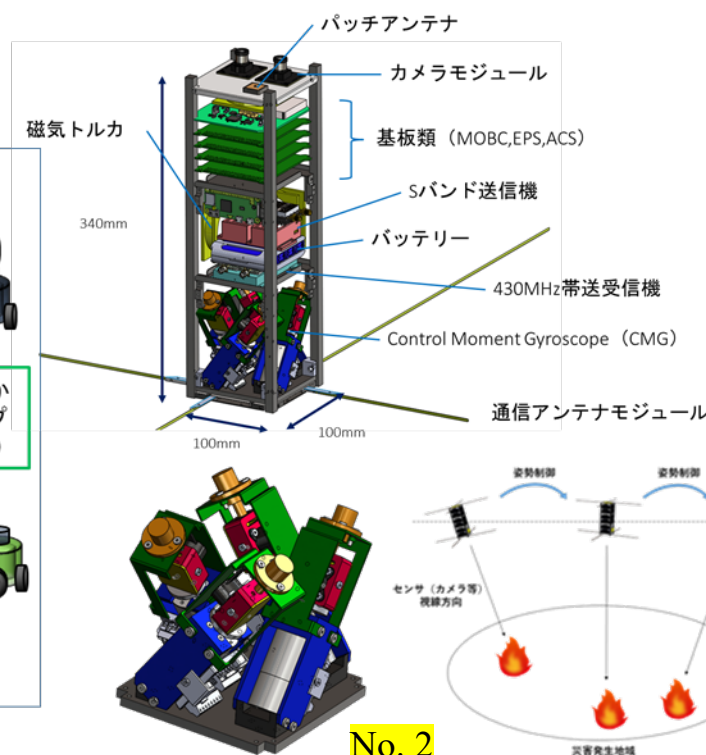
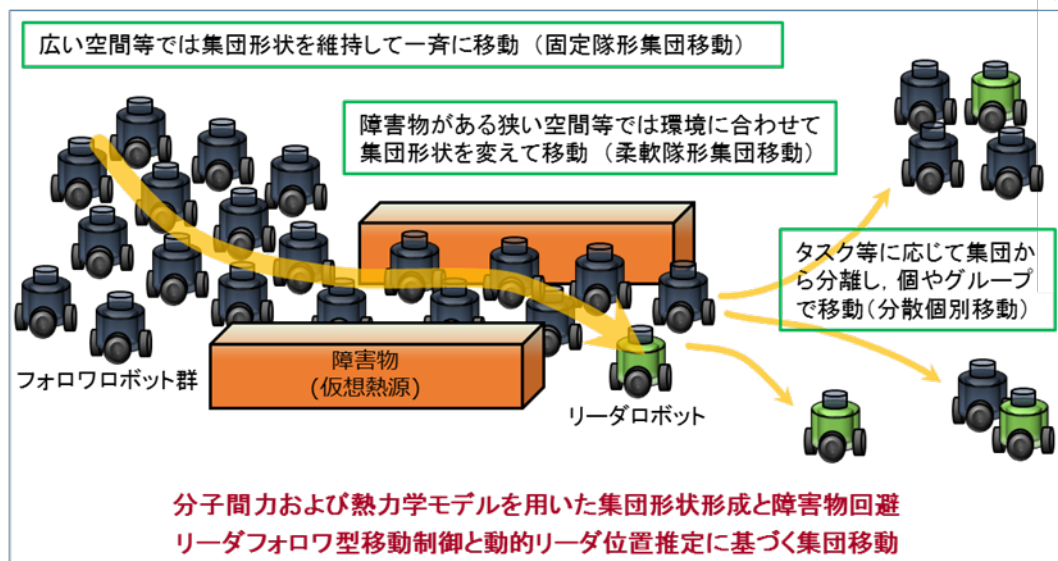
特に以下について協力いただけることを、企業様に期待している。

- 耐圧容器（例えば「江戸っ子1号」等の構造体）の開発・試作
- 要素技術の組み込み、搭載に係る設計・開発
- 浮遊移動体、群制御モジュール、CMGを構成するデバイス、部品の開発・試作
- 水中通信システムの開発・試験
- 試作機の製作および試験

本技術に関する知的財産権

No	国名	公開	審査請求	出願番号	出願日／優先日	発明者	発明名称	備考
1	米国	公開	済	US 16/307,447	2016/6/6	鈴木剛他	Group Robot And Collective Movement Controlling Method for Group Robot	PCT国際調査報告では全てのクレームに特許性あり
	日本	公開	済	特願2018-522432	2016/6/6	鈴木剛他	群ロボットおよび群ロボットの集団移動制御方法	特許査定
2	日本	未公開	未	特願2019-157770	2019/8/30	田中慶太他	姿勢制御装置	
3	日本	未公開	未	特願2019-88728	2019/5/9	藤川太郎他	浮遊する移動体、この移動体を備えた攪拌機	
4	日本	未公開	未	特願2020-043862	2020/3/13	藤川太郎他	浮遊する移動体、この移動体の姿勢制御および群制御	

No.1



産学連携の経歴

- 2016年-現在 群制御についてA社と共同研究実施
- 2018年-2020年 群制御についてJAXA惑星探査
イノベーションハブ事業に採択
- 2017年-現在 浮遊移動体についてB社と共同研究実施
- 2018年-現在 CMGについてC社に部品開発委託

お問い合わせ先

東京電機大学

産学連携コーディネーター 許斐 信介、平野 智

T E L 03-5284-5225

F A X 03-5284-5242

e-mail crc@jim.dendai.ac.jp