



水空合体ドローン

株式会社KDDI総合研究所 **川田 亮一** (かわだ りょういち)

株式会社KDDI総合研究所 **小島 淳一** (こじま じゅんいち)

KDDIスマートドローン株式会社 **土居本 和宏** (どいもと かずひろ)

株式会社KDDI総合研究所 **西谷 明彦** (にしたに あきひこ)

KDDIスマートドローン株式会社 **松木 友明** (まつき ともあき)

株式会社プロドローン **菅木 紀代一** (すがき きよかず)

1. はじめに

近年、日本ではインフラの老朽化が問題となっており、港湾施設や橋脚等の水域インフラも例外ではない。これらの点検は、潜水士が水に潜って担うが、高齢化に伴う人材不足や安全確保が課題となっている。

また水産業に目を向ければ、養殖場・生簀の巡回点検は頻繁に行う必要があるが、漁業従事者の減少により人手不足が課題になっている。

これに対し、人が潜って作業するのではなく、船を出してその上から水中ドローンを下ろして作業させるという手段が考えられる。しかし、船を出すこと自体、手間と時間等のコストが決して小さくはない。一方、近年、通信事業者によりモバイル回線を利用して空中ドローンを制御するプラットフォームが商用化されている^[1]。

そこで筆者らは、このドローンプラットフォームを水域に拡張することにより先の課題を解決することを目指し、「水空合体ドローン」を試作した^[2, 3, 4]。これは、空中ドローンが水中ドローンを抱えて飛んでいき、作業水域で水中ドローンが離脱・潜航、作業終了後にそれを回収、離水して再び陸上拠点に戻ってくるというものである(図1)。作業

水域への往復はLTEを介した自動飛行で行う。また水中ドローンの操作は陸上にいる運用者が、LTE経由で送られてくる両ドローンのカメラの映像と両ドローンの位置を確認しながら行う。GPSの通じない水中でのドローンの位置を知るには、音響測位技術を活用している。

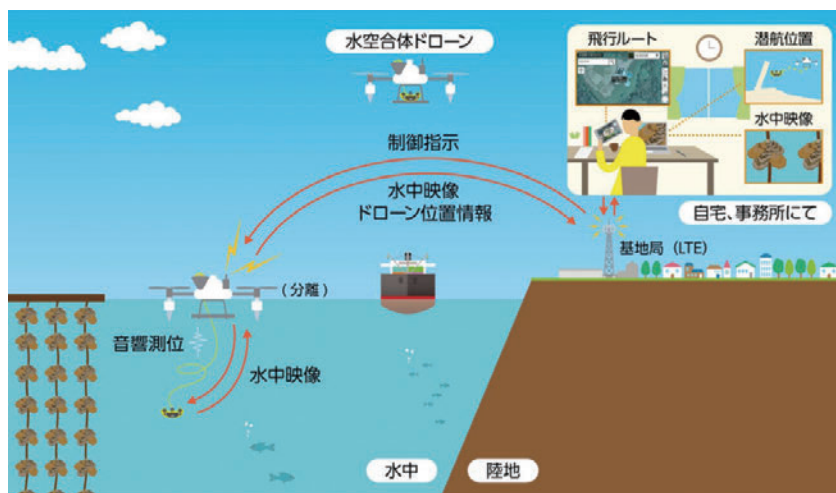
本稿では、この水空合体ドローンについて説明する。

2. ターゲットとする社会課題

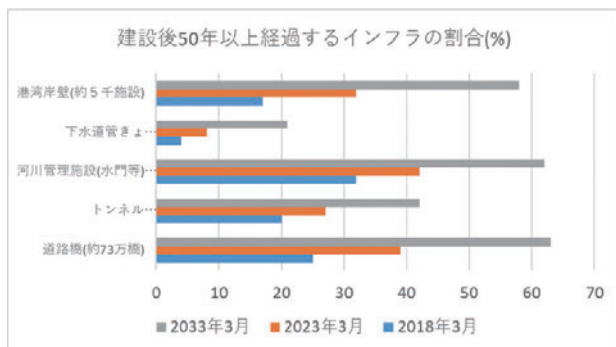
水域インフラや水産設備の点検・監視作業においては、これら海洋関連の熟練人材の不足により、その安全確保・高効率化・省人化のニーズが大きい。

図2に、日本で今後メンテナンスが必要となるインフラの割合の推移を示す^[5]。このように、10年後には半分以上の港湾岸壁施設が建設後50年以上経過となる見込みであり、数千か所の単位で保守作業が必要となってくる。また、図3には、日本の漁業従事者数の推移を示す^[6]。このように、直近の17年間で約半分近くまで減少していることが分かる。

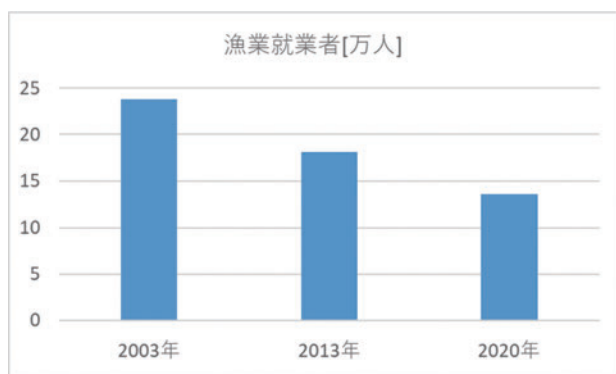
そこで、現場に行かずとも遠隔から飛ばして水中まで操作可能な水空両用のドローンがあれば、非常に利用価値が高いものとなる。



■ 図1. 水空合体ドローン運用の概念図



■図2. 日本のインフラの老朽化状況^[5]



■図3. 日本の漁業従事者の減少状況^[6]

3. 活用したシーズ

3.1 モバイル回線によるドローン制御プラットフォーム

人に代わりドローンが目的地まで行って作業することで、操船及び潜水の要員不足に対応するため、モバイル (LTE) 通信回線によるドローン制御プラットフォームが活用できる。例えばKDDIでは「スマートドローンプラットフォーム」を運用しており^[1]、モバイル通信に対応したドローンを、事前に設定した目的地まで自動飛行させ、様々な作業支援を行っている。例えば、山間の日用品配達や発電用風車の点検等で実用されている^[7]。

今回、水空合体ドローンでもこれを活用することとした。目視外での自動飛行が可能になり、難しい飛行操縦を行うことなく目的地の水域に到達させられるようになる。点検箇所が複数地点にわたる場合でも、事前に地図上で複数地点を登録しておくことで、陸上に帰還せずに次々と回ることができ、大幅な時間短縮が可能となる。

3.2 水中信号処理技術

水空合体ドローンを実用化する上では、遠隔の陸上から水中ドローンの位置を把握できることが必要不可欠である。

水中では電波の減衰が大きくGPSが使えないため、音波を利用して位置を特定する (音響測位技術)。

KDDIでは30年以上前より、海底ケーブルの保守用の水中ロボットの研究開発をしてきた。その中で水中音響信号処理技術の蓄積があり、例えば、深海底探査の世界大会 (Shell Ocean Discovery XPRIZE) では日本のTeam KUROSHIOのメンバーとして世界第2位を獲得している^[8]。

今回、この技術とノウハウを活用し、水空合体ドローンに適した音響測位機能を開発・搭載した^[9, 10, 11, 12]。小型低コストでありつつ、浅海域でも反射等の妨害波に強い測位方式となっている。

4. 水空合体ドローン

4.1 基本構成

図4と表にそれぞれ試作した水空合体ドローンの写真と主要諸元を示す。このように中サイズの空中ドローンの下部



■図4. 水空合体ドローン

■表. 水空合体ドローンの主要諸元

空中ドローン	サイズ	1640mm×1640mm×760mm
	重さ	21kg (水中ドローン含む)
	耐風性	最大風速10m/s
	飛行時間	最大15分間
	飛行速度	40km/h
水中ドローン (QYSEA FIFISH V6 PLUS)	サイズ	383mm×331mm×143mm
	重さ	5kg
	潜水深度	最大150m
	最大稼働時間	最大5時間
	速度	最大1.5m/s
	テザーケーブル	12m (実験用に付替え)

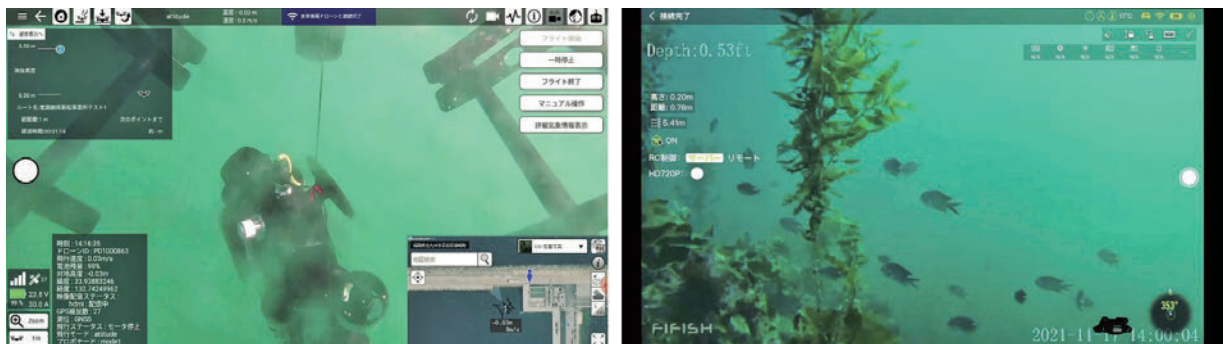


に開閉可能なケージを取り付け、そこに市販の水中ドローンを格納している。水中ドローンと空中ドローンはテザーケーブルで接続されており、ここを制御信号及び映像信号が通る。水中ドローンの作業範囲としては、空中ドローンから数十メートルの範囲を想定している。

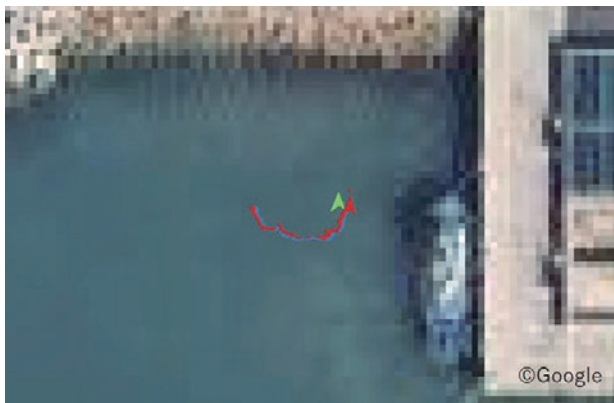
空中ドローンはLTE回線を有し、KDDIスマートドローンプラットフォーム^[1]のもとで動作する。陸上の拠点から目的の水域まで自動飛行し、着水する。その後はオペレータが水中ドローンの離脱・潜航・作業後の回収を遠隔で操作する(図1)。その間、水中ドローン及び空中ドローンから

の映像がLTE経由で陸上拠点へ生中継される(図5)。また水中ドローンと空中ドローンの位置が図6のように実時間で表示され、運用者はそれを確認しながらドローンの遠隔操作を行う。図8に、着水した空中ドローンから水中ドローンが発進する様子を示す。

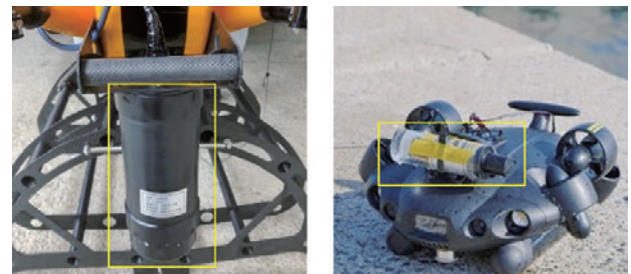
音響測位装置については、図7に示すように、水中ドローンにピンガー(超音波発生器)、空中ドローンにレシーバー(ハイドロフォンと信号処理部を含む)を搭載し、レシーバー内で計算した水中ドローンの位置情報をLTE経由で陸上まで送信している。



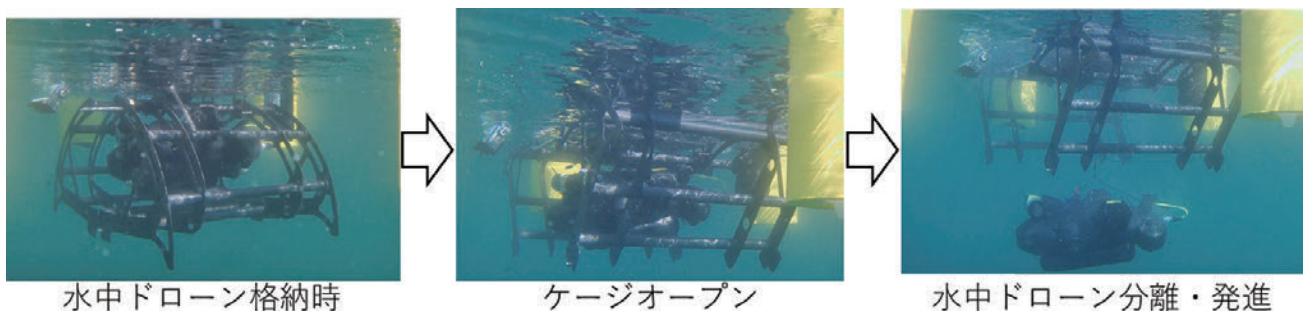
■図5. 両ドローンからの映像。空中ドローン(左)及び水中ドローン(右)



■図6. 空中ドローン(緑)と水中ドローン(赤)の現在地表示



■図7. 音響測位装置。レシーバー(左)とピンガー(右)



■図8. 水中ドローンの発進の様子



4.2 実海域での実証

2021年11月に北九州市沿岸海域において、水中観測実証を行った^[13]。あらかじめ指定した作業水域まで水空合体ドローンを自律飛行させ、音響測位機能を活用して水中ドローンを遠隔操作し、水深約4~10mの範囲の海底の様子（藻類が生息する海底の様子）を撮影・実時間伝送することができた。リアルタイムに映し出される藻の生息状況を含む海中の様子を見ながらの操縦が可能であったため、観測箇所や潜航ルートを状況に合わせて柔軟に変更できた。

また、2022年2月には、神奈川県沿岸の岩牡蠣養殖場において、海中に連なる多数の牡蠣養殖設備の撮影・実時間映像伝送を、潜水士に頼ることなく実施することに成功した（図9）。

5. おわりに

本稿では、筆者らが開発している水空合体ドローンについて説明した。モバイル回線によるドローン制御プラットフォーム上で動作し、陸に居ながらにして水中ドローンの遠隔操作が可能となる。水空合体ドローンの利用により今後、水域インフラの点検や養殖設備の監視などを、船を出さずに陸から実施できるようになる。さらに、海上インフラ整備や水中資源の活用等、海域の活用が広がっていくことが期待される。

参考文献

- [1] 博野, 松木, 杉田, 田中: “スマートドローン実現に向けた取り組み”, 信学誌, vol.102, no.6, pp. 517-519 (2019).
- [2] 西谷, 川田, 小島, 三輪, 松木, 博野: “水空合体ドローンの開発”, 日本ロボット学会学術講演会, No.1B4-1 (2021).
- [3] 西谷, 川田, 小島, 松木, 吉原: “水空合体ドローン”, 信学誌, vol.105, no.9, pp. 1114-1120 (2022).
- [4] A. Nishitani, R. Kawada, J. Kojima and K. Yoshihara: “Development of combined aerial and underwater drone system”, Proc. IEEE Oceans (2022).
- [5] 国土交通省: “社会資本の老朽化の現状と将来”, https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02_01.html (参照2022-12-27).
- [6] 水産庁: “令和3年度水産白書”, <https://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/wpaper/index.html> (参照2022-12-27).
- [7] KDDIスマートドローン: “活用事例”, <https://kddi.smartdrone.co.jp/solution/case/> (参照2022-12-23).
- [8] KDDI 総合研究所: “日本発の海底探索チーム「Team KUROSIO」Shell Ocean Discovery XPRIZE「Round2 実海域競技」(決勝) 結果報告”, <https://www.kddi-research.jp/newsrelease/2019/060301.html> (参照2022-12-26).
- [9] 川田, 西谷, 小島: “水空合体ドローン向け音響測位方式の検討”, 海洋音響学会研究発表会講演論文集, No. 22-2, pp. 3-4 (2022).
- [10] R. Kawada, A. Nishitani and J. Kojima: “Acoustic positioning system of combined aerial and underwater drones”, Proc. IEEE Oceans (2022).
- [11] 川田, 西谷, 小島: “水空合体ドローンの音響測位技術”, <http://sensait.jp/22380/> (参照2022-12-27).
- [12] 川田, 西谷, 小島: “水空合体ドローンのための音響測位方式”, 信学技報, EA2022-73, pp. 72-77 (2022).
- [13] KDDI: “世界初の水空合体ドローン、遠隔での水中撮影に成功”, <https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2021/12/14/5593.html> (参照2022-12-26).



■図9. 飛行中の水空合体ドローンから撮影した牡蠣養殖場（左）と水中ドローンから撮影した養殖牡蠣の様子（右）