

研究成果報告書

研究開発課題名	水面ドローン・ソナーマッピングによるため池土砂堆積状況把握技術の開発
研究総括者	中央開発株式会社 理事・技師長 長田実也
研究開発組合	中央開発株式会社 株式会社ジャパン・インフラ・ウェイマーク
試験研究機関	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究部門

1 事業の実施内容

1. 1 事業の背景及び目的

(1) 事業の背景

農業用ため池は、農業生産に不可欠な農業用水を供給する施設として築造され、西日本地域を中心に全国で 17 万余を数え、古来より我が国農業の発展に重要な役割を果たしている。

ところが平成 30 年 7 月豪雨など、近年、豪雨等により多くの農業用ため池が被災し甚大な被害が発生するようになってきた。国では緊急時の迅速な避難行動につなげる対策と施設機能の適切な維持、補強に向けた対策が展開されてきている。

しかしながら、水利組合や集落などの受益者を主体とした組織によって管理されているため池では、農家戸数の減少や土地利用の変化から管理及び監視体制の弱体化が懸念されている。平成 30 年の豪雨後に実施された全国ため池緊急点検では、豪雨に対する安全性を確保するための水位管理が適切に行われていない事例や、ため池に至る管理用道路において草木が繁茂するなど、日常的な維持管理が適切に行われていないため池が確認されるなど、管理不行き届きの実態が明らかになってきている。

ため池の長寿命化・防災・減災対策といった管理が適正に行われるには、流域の特性や植生の状況、ため池内の土砂堆積状況に関する基本的な情報の収集・分析を含む調査が必要だが、国はもちろん、都道府県や地元自治体にも十分整備されているわけではない。ため池を管理している土地改良区や水利組合等は、そうした情報の重要性を理解していても、人的資源や経済的基盤が脆弱なことから、ほとんど実施に至っていない。

このため、こうしたため池管理に不可欠な現況把握のための調査が、より手軽で安価に実施されることが求められている。

(2) 事業の目的

本事業では、個々の施設規模が小さく、管理体制が確立していないというため池の管理実態を念頭に、全国に数多く存在するため池について、現況把握の第一歩として、これまでほとんど情報のないため池の水中の状況を可視化し、土砂等の堆積状況を従来技術よりも容易かつ安価に把握する手法を確立することを目的とする。

1. 2 事業の内容及び実施方法

(1) 水面ドローンの開発

ため池における土砂管理に係る調査はこれまでほとんど事例がない。農閑期にため池の水を落水し、たまった土砂を除去するなどの管理を行っているところもあるが、ため池の中の状況を見てみるという行為はなされてきていないのが実状であり、土砂管理の第一歩として、ため池内の土砂堆積状況の把握に着目した調査手法の開発を目指すこととする。

この、ため池の水底を可視化する技術として、現在、もっとも簡便で有効と考えられる手法が、ダム貯水池において実用化されている魚群探知機を用いた超音波測深技術“ソナーマッピング”（後述）である。その技術をため池の現地条件に合わせて最適化するため、特に調査の機動性をさらに向上させる調査船として、水面ドローンの開発を行う。

本研究開始時点での水面ドローンの開発状況は、以下のとおりである。

水面ドローン（USV：unmanned surface vehicle）は、従来のゴムボートによるデータ収集に比べ、作業の安全性、機動性、省力化を飛躍的に向上させる可能性がある。

本研究開発では、水面ドローンにソナーマッピングに必要な計器（魚群探知機本体操作部、振動子（超音波送受信機）、GNSS アンテナの無線通信接続）を搭載し、無人かつ自動運航でデータを収集するための機体開発を行う。

水面ドローンの開発の経緯（現状技術）と特徴について以下に示す。

① 水面ドローン開発の経緯（現状）

図-1 は、水面ドローンは、ため池、河川、ダム等の狭隘な空間を調査するために開発を進めている技術である。一般に空撮で用いられているドローン（UAV：unmanned aerial vehicle）の姿勢制御機能、無線通信技術を水面上の移動体制御に応用したものであり、現状で同等の機動性を有するドローン技術は存在しない。



図-1 水面ドローン(プロトタイプ)

② 水面ドローンの特徴

図-2 は、水中ドローンの開発モデル 3D 設計図である。

従来の水中プロペラ駆動のボートとの違い、優位性を以下に示す。

（方向転換性能）

図-3 に示すように、通常のスクリューとラダーを備えるボートは、前後移動、左右旋回といった自動車と同じ様な動きしかできない。その際、サイドスキャンデータの精度が落ちる（データの同期が困難となる）。しかし、水面ドローンは、水上部分の駆動装置で動力を与えているため、機体の向きを変えずに全方向に移動、回転することがきる。そのため、安定したデータ収集が可能となる。

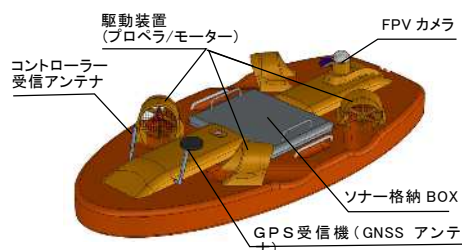
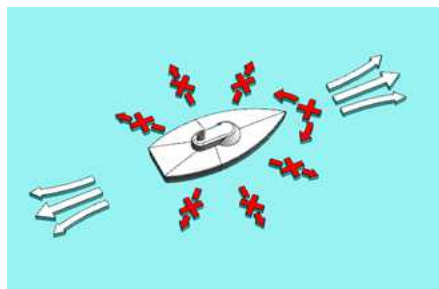
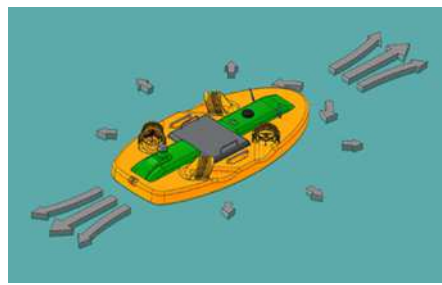


図-2 水面ドローン（3D設計図面）



(a) 一般のボート（船首方向のみ移動）



(b) 水面ドローン（全方向へ移動）

図-3 方向転換性能の違い

（姿勢保持性能）

ボートの場合、風や水流の影響で一定の場所に留まる事ができない。水面上で機体をボートに比べ薄設計することで、風、水流影響が小さく、また、空撮用ドローンの位置制御機能により、一定の場所に留まる、また、流された場合に元位置に戻ることが可能である。

（障害物転覆回避性能／メンテナンス特性）

ボート（水中プロペラ駆動）と違い、水草、枯木といった水中の障害物の影響がない。少々のお草等は乗り越えることが可能である。駆動装置がすべて機体の上に搭載されるため、障害物によるトラブルも少なく、改良、更新のメンテナンスコストも優れると考えている。

（2）ため池測深データ収集システムの開発

現行のソナーマッピング手法を無人調査船に搭載することに伴って、魚群探知機の操作や取得データの取り扱いについて改善が必要になる。将来的に、複数ため池における調査を同時並行的に実施することを想定し、各ため池での個別計測制御、データ回収・集積の省力化と一元化、位置情報の一括管理等を含めた計測システムの開発を行う。

（3）実証試験

まだ形もなく、実用化の試行も行われていない、先行事例もない水面ドローンであるため、開発の各段階において、試験を重ね、一步步手戻りをあっても最小限になるように進めていく。

その開発段階は以下を想定し、現場試行を実施し、機能を確認しながら改善を行う。

第1段階 水面ドローンが魚群探知機を搭載して航行できるのか。

第2段階 水面ドローンが新規開発の自動航行プログラムで制御できるのか。

第3段階 魚群探知機搭載水面ドローンでため池水底地形計測データが取得できるのか。

第4段階 水面ドローンが多様なため池現場条件の下で運用可能か。

1. 3 事業着手時に想定した技術的問題点への対応

技術的問題点	対応
① 水面ドローンの開発 (ソナーマッピング 機器の適用性検証)	ソナーマッピングで用いる機器類をそのまま搭載しても、水面ドローンが機動的に航行できるか、取得データが必要な質・量・精度を確保できるかについて、現場試行を重ねて、実用に堪えうることを確認する。
② 遠隔操作、自律（自動）航行の課題	魚群探知機による超音波データ取得の特性を最大限活かす航行計画（望ましい航路設定、航行諸元）を実現できる、円滑で効率的な水面ドローンの航行を実現する制御プログラムを開発する。
③ 測深データ収集システムとしての課題	多様な現場ニーズに応じた追加の情報収集に応えるオプションセンサーの搭載も想定した機器設計、および水面ドローンが不測の事故に遭遇した場合等の機器とデータの回収方法の計画と準備。

1. 4 事業の実施体制

(1) 本事業における試験研究機関と事業実施主体の役割分担

研究開発の項目	(国研) 農研機構	事業実施主体 (新技術研究開発組合)	
		中央開発(株)	(株)ジャパン・ インフラ・ウェ イマーク
1) 魚群探知機搭載の水面ドローン開発	○	○	◎
2) ため池測深データ収集システムの開発	○	○	◎
実証試験	○	◎	○
データ解析・検証	◎	◎	○

1. 5 事業の年度計画と実績

研究開発の項目	令和2年度		令和3年度	
	上 期	下 期	上 期	下 期
1) 魚群探知機搭載の水面ドローン開発	■	■	■	■
2) ため池測深データ収集システムの開発		■	■	■
実証試験		■	■	■
データ解析・検証		■	■	■

注) ■ は計画、■ は実績。

1. 6 研究開発の概要、結果、課題等

(1) 基礎となる技術の概要

これまで、ダム貯水池の管理項目のひとつに挙げられていた貯水池内の堆砂状況把握では、深浅測量が適用されている。図-5 に示すように、貯水池内にあらかじめ設定した測線に沿って調査船を操船し、測線上で船から錘を垂らして水深を実測し、現況の断面図を作成し、それぞれの測線間の記録から貯水池全体の堆砂状況を推定するという手法（図-6）である。測線間の地形の変化を直線で近似していることから、堆砂状況の毎年の変化を読み取ることが難しいという課題がある。

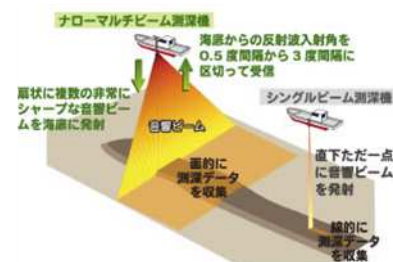
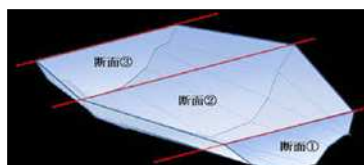


図-5 従来の深浅測量（重錘法） 図-6 平均断面法（中） 図-7 マルチビーム測深の概念

このため、国土交通省では、マルチビーム音響測深（図-7）といった、水底全面の面的な測量方法で、より正確な堆砂状況を把握することを推奨している。しかしながら、この測量方法はかなりコストがかかるため、国直轄管理のダム以外で採用される例は極めて少ない。ため池といった、管理者の経済的な基盤の弱い組織では、調査手法としての採用は不可能に近い。このため、より安価に水底地形情報を取得する方法の適用が待たれる。

2018 年になって、魚群探知機を活用したダム貯水池の水底地形図作成手法—ソナーマッピング—が提案され、現場適用事例が発表されてきている。これは、図-8 に示すように、小型調査船に高価な音響測深機の代替として近年普及の進んでいる魚群探知機を搭載し、貯水池を網羅するように航行して（図-9）大量の水底の座標付き測深データを得るというものである。その取得データは市販ソフトウェアで処理することで、特別な解析技術を用いることなく容易に水底の三次元地形モデルを作成するというものである。



図-8 ソナーマッピング調査船の例

成果図として湖底等高線図（図-10）、任意の位置での断面図、貯水量・堆砂量がたどころに作成・調製される。この手法によれば、従来の深浅測量の半分程度のコストで湖底の情報が得られる。

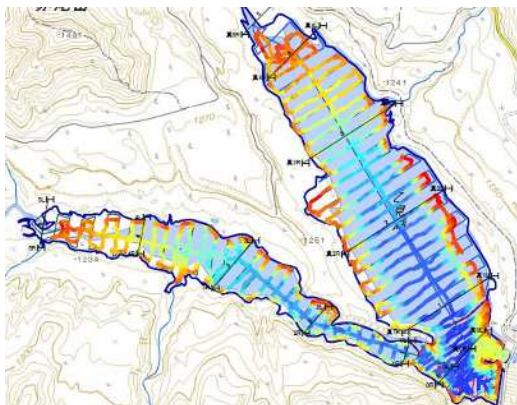


図-9 調査船の計測航路

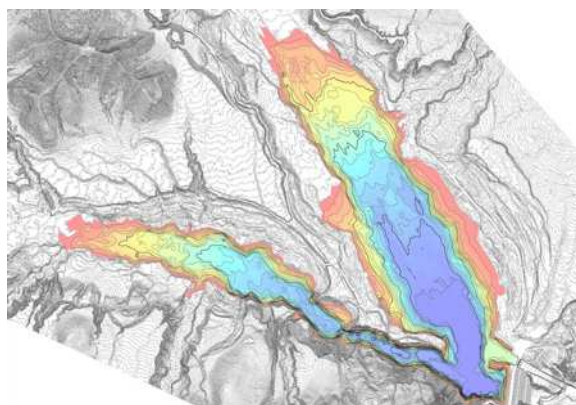


図-10 成果図 水底地形等高線図

このダムにおける魚群探知機によるソナーマッピング調査は、ゴムボートなどの小型調査船を使い、最低2名の作業従事者が乗船して実施されている。この調査手法を相対的に規模の圧倒的に小さいため池現場に適用しようとする場合、計測に必要な航路延長がごく短くて済むのだが、調査規模にかかわらず必要な準備・撤収時間は不可避なため、手際よく進められたとしても、現地計測には一か所あたり、最低でも半日を要する。規模の小さな調査ではあるが、その効率は決して高くなく、ダムでの調査より割高になる。そこで、ため池でのソナーマッピングを普及するためには、計測の大幅な省力化・コストダウンを実現する必要がある。

また、多くのため池では、貯水面へのアプローチを前提とした施設の設置などは設置されておらず、小型の調査船ですら、貯水面に運搬して進水させることは難しく、転落の危険がある。こうしたため池では、ダムで確立された上記ソナーマッピング手法を適用できない場面が想定される。ため池の調査に関しては、使用する機材・計器類は、できるだけ軽量小型のものとするなど、ダムとまったく異なる現場条件に留意する必要がある。

ため池の水深は15mを超えることはなく、計測レンジの調整など、適切な計測のための魚群探知機の細かな操作の必要はなく、無人化が可能。また、平時のため池では、流域からの表流水の流入量も少ないため、池の中の水の流れはほとんどなく、水面は極めて静穏なことが多く、流木、網場、取水塔といった調査船の航行の障害となる物や施設もほとんどないため、自動航行実施の制限はあまりない。

調査船の無人化と自動航行が実現できれば、姿勢の安定したデータの効率的な収集とその繰り返しが可能となり、土砂堆積状況のモニタリングの信頼度と活用の意味合いが増すことが期待できる。

無人ラジコンボートによる深浅測量のサービスを提供している会社も存在するが、いずれも高価な音響測深機を使用するもので、特殊な解析ソフトが必要なため、コスト高のため、ため池での適用は不適。ソナーマッピングとマッチングした取り組みは本研究が初めてである。

なお、本件は運営基盤の弱い管理者を想定した新たな管理についての提案を行うための技術開発であり、計測計器には、一般に普及している市販魚群探知機を活用することでコストを抑制することとしており、計測技術については開発の対象としていない。

【課題】

ソナーマッピング手法では、調査船に図-11 に示すような計測システム一式を搭載している。これらすべてを水面ドローンに載せて航行することができるのか、ペイロード（搭載荷重）と機体の出力スペックの調整は、これまで例がない。



図-11 ソナーマッピングの計測システム（使用計器類一式）

（2）水面ドローンの製作

ため池での利用を想定した水面ドローンの製作には、以下の点に留意して開発を行った。

- ① 小型化 多くのダム貯水池に設置されている、管理用の貯水池への斜路は、ため池になく、水面への調査船の進水は人力で行う必要があり、運搬コスト縮減の観点からも、調査用としての水面ドローンはできるだけ小型化が望ましい。ただし、あまり小さいと、風浪の影響で揺動が大きくなることが予想されるため、ソナーマッピング計測システム一式を搭載できることと合わせて、適度な大きさを確保する必要がある。
- ② ボード型 転覆リスクを回避し、揺動を抑えつつ、吃水を小さくして積載重量を確保するため、通常の舟状ではなく、サーフボードのようなボード型を採用。
- ③ ファン駆動 全方向への航行を可能にし、ホバリング機能を持たせるため、通常船のスクリュー駆動ではなく、水上に配置するファン駆動とする。計器・装置類をすべて機体上に搭載することで、障害物の影響を最小限にとどめることができる。
- ④ 計器一体化 計器類を水面ドローンと一体化させることにより、運搬、計測準備、撤収の効率向上をはかり、計測にかかるサイクルタイムの最適化を図る。

（3）水面ドローンの開発ステップ

水面ドローンの開発は以下のような段階を経て行った。それぞれの段階において、試作した水面ドローン機体を用いた現地試験を行って課題を見だし、順に解決を図っていくこととした。

- ① 魚群探知機搭載機：魚群探知機を載せて安定航行できるのか、積載荷重と出力の調整。

- ② 自動航行機：改良した空中ドローン制御プログラムによる制御の有効性確認。
- ③ 魚群探知機搭載自動航行機：ほぼ仕上がったドローンによる現地計測データの取得。
- ④ 実用機：実機の適用現場条件の確認試験。

（４）ため池測深データ収集システムの開発

ため池の管理は、似た地勢・社会条件下にあるため池であれば、一括して管理するほうが効率的である。個別ため池の管理から、実効的な広域管理を行うために、無人の水面ドローンであれば、同時に複数のため池現場で一斉に計測することができる可能性がある。本事業では、複数調査船の稼働に伴う本体制御通信機能にかかる開発を行い、地域の一括管理の実施を試行することとした。

水面ドローンの現場試行を行ってみると、一か所あたりの計測時間は２時間を切る程度と短く、コンパクトな期待としたことから、運搬も簡単で、現場に到着後、計測準備にかかる時間も短く済むことが判明した。また、現在、水面ドローンを複数同時に稼働できる状況にはないことから、複数のため池の計測を同時に行うことの試行よりも、計測記録の共有を優先させるシステムの構築を試行することとした。

インターネットのクラウドサービスを利用して、サイトを運営し、各地での計測記録を一括して管理することで、閲覧・利用を可能できることを確認している。

ため池一か所あたりの現地計測記録は数 GB 単位となることから、計測者が個人で保有するより、サイトで管理したほうが、散逸と埋没を防ぎ、有効活用が確保できる。

1. 7 実証試験（現場適用）の概要、結果、課題等

<第一段階>：ドローンに魚群探知機、乗せて走れるのか

船上のファン(プロペラ)駆動による水面上を自由に移動できる計測ロボットの作成という基本構想をもとに、図-12 のような概念図を基礎として、試作機を作成した。現地計測時の考え方として、一回の航行は最大２時間程度として、バッテリー重量を抑え、適当な駆動力の概定を行った。航行時間を長くし、データ回収の間隔を開けてしまうと、万一、データ取得エラーがあった場合の手戻りが大きいこと、一般的にため池はそれほど大規模なものがなく、一か所あたりの所要時間が２時間程度を超えることはないとの見通しによる。また、家庭用のロボット掃除機のように、スタートさせたらあとは完全に任せ、例えば夜間運行して自動でデータをとるといような運用は想定していない。屋外計測でもあ



図-12 水面ドローンのコンセプトデザインと 試作機第1号

り、データ回収はあまり長時間に及ぶことなく、適当な長さでこまめに実施して、確実なデータ取得を目指すこととした。

現地実証調査は2020年12月22日、静岡県内のため池で実施した。調査ため池は周囲を急斜面が取り囲んでおり、調査船の水面へのアクセスが極めて困難。また、水深が浅く、幅も狭いうえに、全周に樹木が繁茂し、その幹枝が水面に張り出して覆っており、小型のモーターボートやゴムボートでも岸の近くを航行して測深することができない状況であった。このため、水底地形調査として、機動性の高い水面ドローンの導入が適切と判断した。なお、貯水域が屈曲し、陸上から視認できないエリアもあることから、調査船の状況を常時監視し、適切な航路に誘導し、測深データを確実に取得するため、今回は、操縦者を載せたゴムボートを調査船に伴走させ、調査船の現在位置を常時監視し、障害物回避を行い

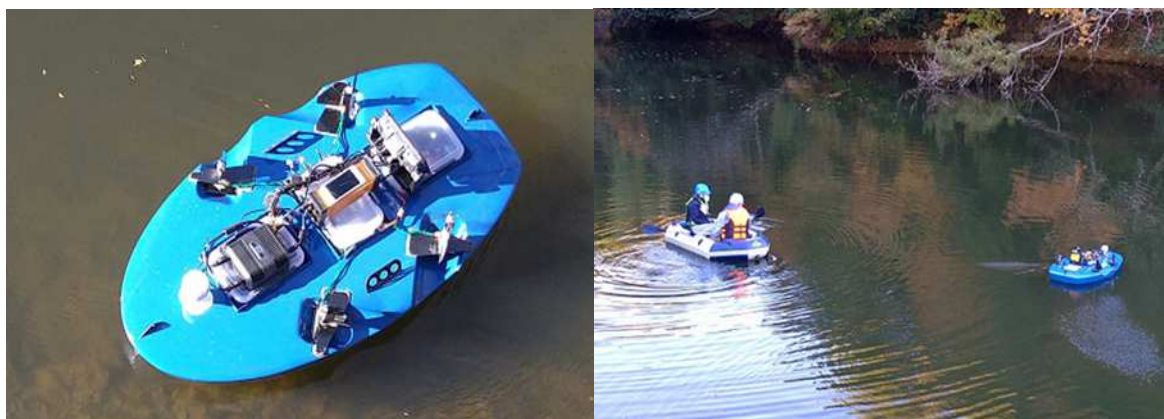


図-13 魚群探知機搭載機と現場実証状況（上画像左は操船者を乗せた伴走船）

ながら、そのゴムボート上からの有視界での水面ドローン操縦とした。特に、樹木の水面への迫り出しがあるところでは水面ドローンの駆動装置が損傷しないよう留意しながら操船し、両岸近くでは、湛水域の確認も行うこととした。

魚群探知機を含む計測機器類一式を搭載した水面ドローン機を、時速2キロメートル程度以下で安定的に航行させられることを確認した。また、取得データには欠損もなく、これらの処理によりため池の水底地形図も、これまでのソナーマッピングと同様に作成することも確認できた。ただし、岸からの樹木の張り出しがあるところでは、水面ドローンの進入はできず、また、ゴムボートでもそれは難しいことから、現地での詳細な航行ルートの確認が必要なことがわかった。

<第二段階>：安定した自動航行ができるのか

水面ドローンの航行制御は、空中ドローンの飛行制御プログラム“Mission Planner”（フリーソフトウェア）をベースに開発した。XYZ 各方向に自由に動ける空中ドローンに対し、水面ドローンは Z 方向には移動できない制限がある。そのため、Z 方向の制御コマンドがあると、それに呼応した動きができず、制御不能のエラーとなって、システムが停止する。そこで、元の空中ドローン制御プログラムから、Z 方向のコマンドが含まれる部分をひとつひとつ削る作業を行った。作動エラーが発生しなくなり、安定した航行ができることを現地での試行を繰り返し、プログラムを完成させた。

この水面ドローンは自動航行の機能確認のため製作したもので、魚群探知機は搭載していない。



図-14 自動航行水面ドローン

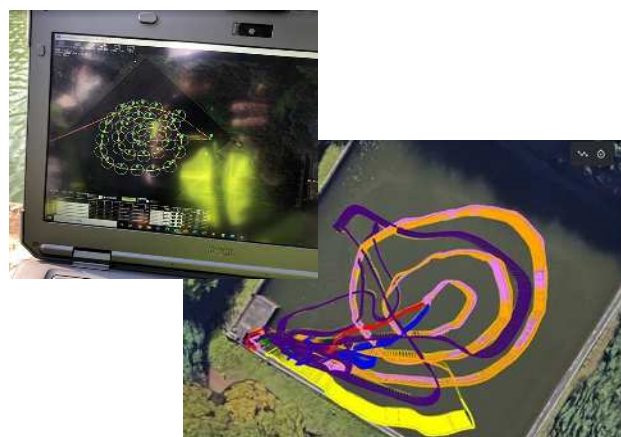


図-15 航路設定画面(上)と実際の航跡(下)

<第三段階>：水面ドローンの自動航行によるデータ取得試験

水面ドローンの実用化テストとして、2021 年 11 月、魚群探知機を搭載した実機を自動航行プログラムで制御して、津市内のため池現場三カ所において水底地形計測を行った。

このため池では、現場における水面近くの障害物の状況を見ながら、その場で航行ルートを素早く設定する手順などを確認し、航行させて、測深データを収集した。現地調査時の計測ルート設定事例を図-16 に挙げた。



図-16 自動航行ルート設定事例



図-17 ため池での自動航行試行状況

<第四段階>：水面ドローンの現場適用条件の確認

ため池の水面は通常、静かで障害物がないが、厳しい現場条件のところでの航行テストも行っており、現場での適用限界についての情報を集めた。

水面に障害物があった場合の代表例として、図-18 のように蓮が覆う水面での航行テストを行った。蓮の葉の上を乗り上げて進むことができることを確認した。

水流のあるところについて、図-19 に示すように荒川上流・深谷市内の頭首工周りで航行試験を行った。図-20 のように、水流が毎秒 1 m 程度の流れのあるところでも、水面ドローンは流されずに姿勢を維持して航行できた。



図-18 蓮でおおわれたため池での試行



図-19 河川での航行試験



図-20 堰下流の流れのあるところでの試験航行状況

一方、図-21 に示すような岸近くの、浅瀬によく繁茂する、ヨシなど、イネ科の植物は、弱々しく見えても、ファンに絡まるとモーター駆動力が強いため、ファンが破損する(図-22)トラブルが生じることを経験した。このため、自動航行ルート設定時には、こうしたリスクを回避するため、浅部航行には留意が必要である。



図-21 航行障害を起こす草の例

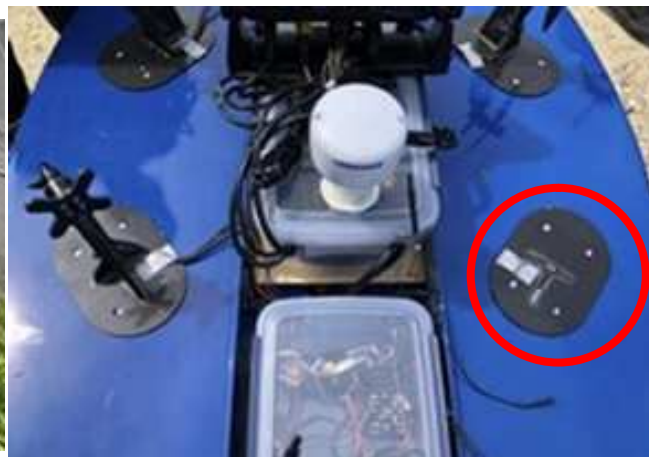


図-22 草が絡まって破損したファン（丸印）

＜水面ドローンの機能に関する現場実証試験＞

上述の現場実証試験により、通常のため池環境下での水底地形把握手法として、水面ドローンの有効性はおおむね確認された。ここでは、自然条件が多少変化した場合も想定し、本機の機能確認として、農研機構・農業工学研究部門の実験施設において、姿勢保持性能に関する実験を行った。

■姿勢保持性能に関する試験

河川等での利用を想定し、機体がどの程度の流速に対し制御可能かを確認するため、機体の前進方向と横方向の2つの方向について、水流に対し移動可能か、1分間静止・ホバリング可能か、の確認を行った。

貯水池のポンプの循環装置を利用して作った急流状態（最大約 0.85m/s ）のもとで、水面ドローンに航行指令を出したところ、正面及び横方向からの水流を受けながらも、4基のファンの出力を自動で調整しながら、流されることなく、また、転覆することなく初期位置を保持できることを視認した。

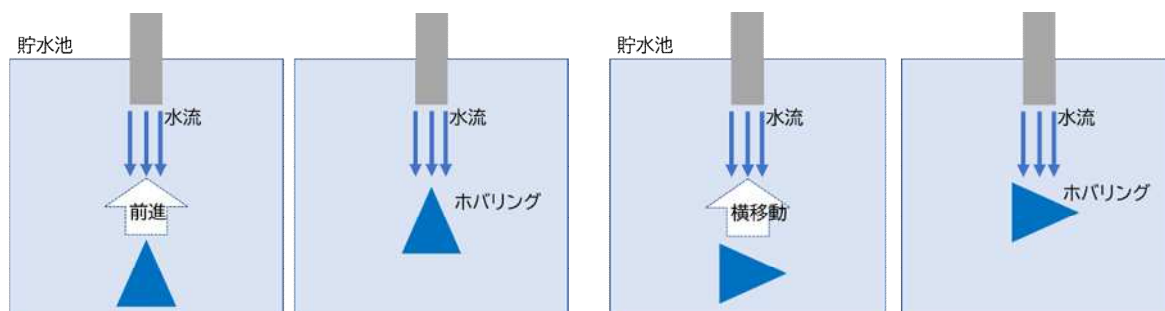


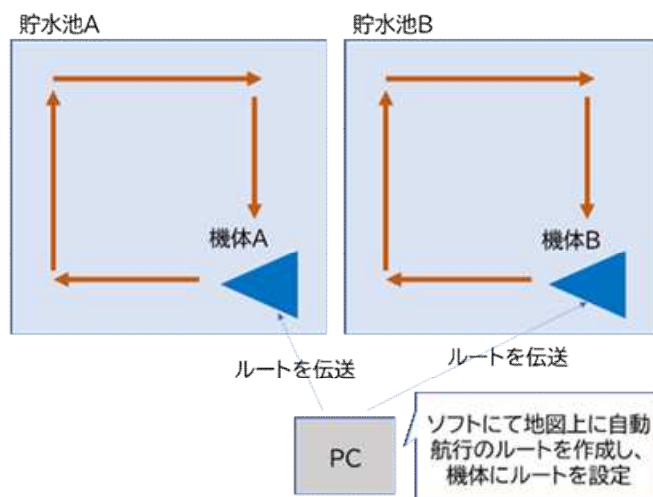
図-23 姿勢保持性能試験の設定模式図



図-24 姿勢保持性能試験の実施状況（2022年3月）

■2機同時自動航行の確認

広大なダム等において複数機の機体を用いて同時に航行させ効率良く計測することを想定し、図-25 のように2機を同時に自動航行させるテストを行った。



● 図-25 二機同時自動航行試験の概要

設定したルートに基づき問題なく2機を同時に自動航行させることができた。ルートについては現地で容易に作成・修正可能であり、航行速度や航行方向(船首の向き)についても容易に設定可能である。

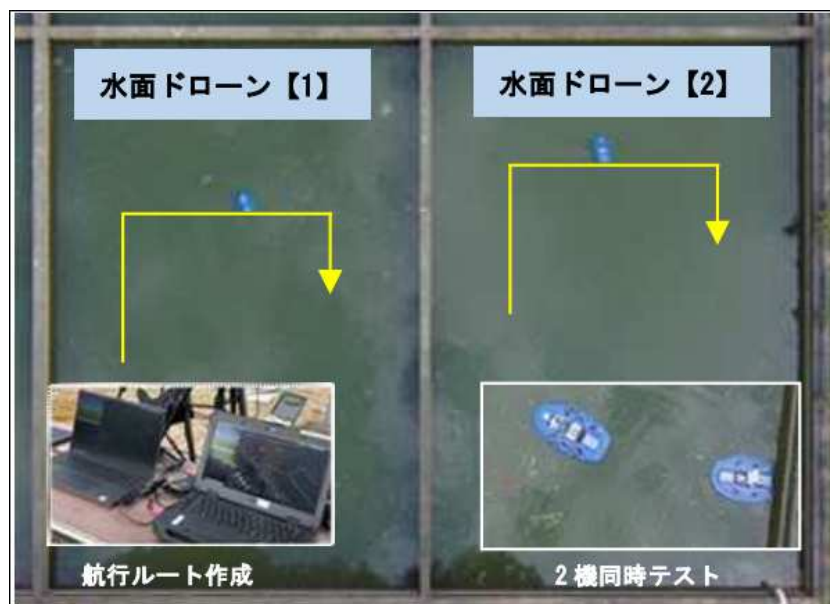


図-26 二機同時自動航行試験の実施状況

これら複数機の水面ドローンにより取得したデータは、それぞれ個別にネット上にアップロードすることで情報共有を図ることを想定しており、測深データの収集と管理に関して、省力化と一元化の実現を図ることができる。

2 事業の成果

2. 1 成果の内容

本研究によって、これまで管理が十分行き届かなかったため池において、水底地形計測システムとして活用可能な水面ドローンを開発し、現場に提案できる段階まで到達できた。以下にその成果をまとめる。

- (1) 人力でため池水面まで搬入可能で、簡単な設定により、ため池内を網羅して航行し、水底地形点群データを収集できる水面ドローンを開発した。
- (2) 水面ドローンは転覆のリスク少なく、最大時速 5km 程度で、揺動少なく安定して航行することができる。
- (3) ファン駆動により、素早く方向転換することができるため、直角にも曲がることができる。任意の場所で停止し続けることもできる。
- (4) 自動航行の精度は、水平位置の誤差 1, 2 m 以内を維持できる。
- (5) 流速毎秒 0.8m 程度の流れに抗して流されず、指定航路を航行することができる。
- (6) 水深 0.5m 以深の水域で信頼できる水深データを取得できることを確認した。
- (7) 湛水面積 7,000m² 程度までのため池であれば、一か所 2 時間以内で計測が完了できることを確認した。

2. 2 目標の達成度

(1) 成果から得られる効果

小規模な貯水池であるため池でも安価に水底地形情報収集が可能な小型で機動力の高い計測システムとしての水面ドローンの実用化により、これまで貯水の透明度が低いことから人目に触れず、うかがい知れなかった水底の地形を把握することが可能となった。

落水しない、できないため池についても、定期的な土砂堆積状況調査として水底地形を把握していくことによって、予期せぬ豪雨による大規模な出水があった場合の破堤リスクを評価するなど、データに基づくため池の適正な管理を支援することで、施設の長寿命化とともに、地域の防災に貢献することが期待される。

(2) 従来技術との比較

1) 比較する従来技術

ため池の水底地形調査・土砂堆積状況調査はこれまで企画されることがほとんどなく、適用事例が得られていない。そのため、ダムにおける深浅測量として通常使われているシングルビーム音響測深機を使った調査船による深浅測量を比較対象の従来技術として設定する。

2) 従来技術に対する優位性

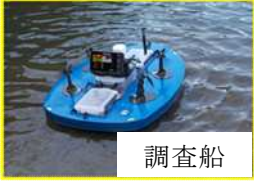
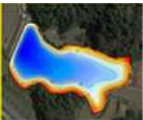
従来技術との比較について、表 1 にあげた。これまで高価で企画さえされにくかった、ため池の現況土砂堆積状況把握調査は、例えば、集水域一斉に同時期に実施するなどして、まとめて実施されれば、調査コストを下げることもできることから、基礎データの蓄積が図られる可能性がある。

近年、音響測深機をラジコンボートに積載しての計測システムが提案されているが、使用されている音響測深機が高価なため、利用料金が高い他、取得データの処理には専門技

能が必須の特殊な解析ソフトの利用が避けられず、調査費用は数百万円単位と高くなってしまふ。

また、計測ボートの低価格化も進んではいるが、多くの場合、ホビー対応にとどまり、小型すぎることで航行が不安定で、かつ、計測値の信頼性が低く、精度の高い自動航行はできず、管理に供する記録の取得は望めない。

表―1 従来技術との比較

	新技術	比較する従来技術 (当初の工法・標準案)	比較の根拠
概要図	 調査船   計測計器 成果図	 調査船   計測計器 成果図	【新技術の革新】 水域の測深技術が、飛躍的に革新 調査船、計測計器、成果図が刷新され、水底の見える化が実現 現地業務の安全化、効率化が進展し、業務のコストが削減
工法名	水面ドローン ・ソナーマッピング	測量船によるシングル ビーム深浅測量	
経済性(直接工事費)	200 万円/1km ²	260 万円/1km ²	ため池での調査は極めて稀少 自社見積もりと標準積算基準
工程	13 日/1km ²	15 日/1km ²	自社見積もりと標準積算基準
品質	従来技術と比較して、データ量が百倍以上多く、高密度なデータ取得で多様な成果品あり	成果は測線上限定の断面図のみ	自社見積もりと標準積算基準
安全性	無人機で、落水などのリスク回避	ダムでは実績の多い手法	無人化の効果
施工性	従来技術と比較して、データ取得効率が向上しデータ処理も容易なため生産性が向上。	調査船の運搬、計器類の艀装・調整、撤収、データ処理に労力と時間を要する。	自社見積もりと標準積算基準
周辺環境への影響	同等（騒音なし）	悪影響はほとんどない	

2. 3 成果の利用に当たっての適用範囲・留意点

- ・水面まで人が近づくことができ、機器本体を進水できる水域。
- ・水深 0.5～150m 程度の水域で適用可能。
- ・荒天時は航行を見合わせる。
- ・計測時の航行速度は毎時 5km 程度以下、一回の計測は 2 時間程度までとする。
- ・航行は GNSS 電波が安定して受信可能で、有視界の範囲に限定。
- ・機体に障害物回避機能はなく、ため池の岸近くの水草繁茂エリアや岸からの立木の張り出しているところでは航行障害の危険があるため、計測航路設定前の現地確認を慎重に行うこと。

3 普及活動計画

3. 1 想定される利用者

- ・都道府県土地改良事業団体連合会（水土里ネット）
- ・土地改良区
- ・ため池管理者
- ・市町村（農業農村整備事業）

3. 2 利用者への普及啓発等の方法

- ・防災重点ため池を重点的に、ため池管理者を個別に訪問して技術紹介。
- ・積算資料等を整備し、管理者に対して業務受注を働きかけ、事業の起動を推進。

3. 3 利用者に対するサポート体制、参考資料等

- ・調査の手引き・マニュアル整備、配布、オペレータの養成。
- ・要請により計測・データ処理講習会の企画と実施。
- ・ダム管理者へのソナーマッピング紹介と合わせて全国周知を図る。

3. 4 特許・実用新案等の申請予定

実用新案、新技術情報提供システム（NETIS）登録申請予定

- （1）申請者予定者 中央開発株式会社、ジャパン・インフラ・ウェイマーク社共同
- （2）申請予定時期 令和 4 年度内

4 研究総括者による自己評価

審査の ポイント	着眼点	申請時計画目標 ^{注1}	自己評価 ^{注2}	自己評価 の理由 ^{注3}
目標の 達成度	・効果 (従来技術に 対する優位性)	・水底地形の点群 データが得られ る	A: 優れている B: 概ね妥当 C: 不十分	・従来なかった水中可 視化技術の実用化に 成功。
	・信頼性 (品質、精度、 安全性、耐久性 等)	・安定した自動航 行で測深データ が得られる	A: 優れている B: 概ね妥当 C: 不十分	・管理に関する現場の 要請に十分こたえられ る成果が安定して得ら れることを確認。
	・適用範囲・適 用条件等	・通常的气象状況 下で航行・データ 取得ができる	A: 広範囲に適 用 B: 概ね妥当 C: 限定的	・あらゆるため池現場 に適用可能で、汎用 性が高い。
普及の 可能性	・想定される利 用者への普 及啓発の方 法	・現地確認試験に よるデモンスト レーションの実 施	A: 十分な利用 が見込まれる B: 概ね妥当 C: 限定的	・現地試行時に地元の ため池受益者が多数見 学に訪れ、有効な手法 であることが理解され ている。 ・学会活動や説明会・ 現地デモ計測等、技術 紹介の機会での評価は 受けており、継続した 活動が続けている。
	・利用者に対す るサポート 体制 (設計・積算・ 施工等の参考 資料、相談窓口 等)	・ため池管理者へ の設計・積算・施 工等の資料の提 供	A: 十分に整備 されている B: 概ね妥当 C: 改善が必要	・全国初の取組みで、 一般競争入札になじま ず、事業化のきっかけ がつかれない状況。 ・ため池を調査・保全・ 更新する施策が不可欠 で、事業展開には、当 組合を含め、実施者 による協会の設立や、 管理者・類似業務実施 者・通信事業者との連 携が必要。
総合コ メント ^{注4}	・画期的な技術開発に成功し、全国的な管理コスト削減に貢献できる可能性は高い。 ・地元のため池管理を支援する行政的な取り組みなしには普及は難しいか。			

注1) 成果報告書に記載の研究開発目標を記載する。

注2) 評価結果欄は、A・B・Cのうち「A」を最高点、「C」を最低点として3段階で記入(○付け)する。

注3) 自己評価の理由を記載する。

注4) 総合的なコメントを記載する。

5 今後の課題及び改善方針

(1) 障害物検知と回避機能の実装

水面ドローンの自律航行機能を向上させる場合、必要な機能ではあるが、現況でどのような航行上の障害となるものがあるのかについて情報が少ないため、無人の水面ドローン機が自ら判断して航路を変更させることができるように学習するためには、相当の現場経験を踏まえる必要があり、現状ではこの実現はかなり困難とみられる。事前の人の眼による先遣調査で対応するほうが現実的であり、今後、投資効果について検討すべき課題である。

(2) 追加計器実装による情報収集オプションの整備

水面ドローンの駆動力が許容できる積載可能重量の範囲内で、以下のような計器を追加して搭載することによって、測深データ取得と同時に、コストの上乗せなしに、管理上有効な各種資料の収集が見込まれる。今後の試行により、発展的な情報整備による管理への活用が期待される。いずれの場合でも、資料の収集の後の処理にはコストがかかることから、それに見合った成果の活用の必要性について、よく検討することが求められる。各地域の現場の状況は多様なことから、こういった活用が可能か、事例の蓄積が求められる。

- ① レーザースキャナ：ため池外周・水面近傍の測距を行い、「湛水線（水深0 m 線）の正確な把握」により、算定水量の信頼性の向上が見込まれる。
- ② ビデオカメラ：ため池外周・水面近傍の画像・動画取得を行って、これまで得ることの難しかった「ため池斜面の現況把握」が容易になり、貯水池の監視の省力化と安全化が見込まれる。
- ③ 3D スキャンソナー：水中画像・動画の取得によって、ため池斜面の水中部分やため池内の取水塔等の構造物の現況を確認できることは確認できている。得られた密度の高い点群データを処理することで詳細な成果図を得ることも可能となるが、相当のコスト増となることから、実施にあたっては費用対効果の検討が必須である。

(3) 普及の取り組み強化 防災重点ため池を対象としたデモ調査の実施

ため池と一口に言っても、それぞれ固有の水文環境下であり、受益の社会的状況を反映して、管理上の課題の軽重も多様である。これまで、ため池の管理はその対象を堤体の安定性を中心において実施されているのが現状である。ため池の水底地形については、常に把握されていることが望ましいが、数も多いことから、優先順位をつけての実施が現実的であろう。防災重点ため池は、受益者のみならず、下流住民への影響も大きいことから、水底地形調査実施の優先度は高いと思われる。限られた予算の中での管理を実践している管理者の意識醸成のためには、当該手法による調査の有効性についてより具体的に提示するため、デモ調査の実施が待たれる。