

琵琶湖水質調査への新技術の適用に向けて ～水上ドローンの可能性～

田中 信¹

¹近畿地方整備局 福井河川国道事務所 工務第一課 (〒918-8015福井県福井市花堂南2-14-7)

琵琶湖河川事務所では、公共用水域である琵琶湖の水質調査を、滋賀県及び独立行政法人水資源機構と分担して実施している。

現状では事務所所有の船舶を運航、調査地点にて採水を行っているが、水質調査全体に係るコスト削減や作業従事者の負担軽減（省力化、作業時間短縮）がかねてから課題とされており、新たな技術を活用した生産性向上の検討を進めてきたところである。

本稿では、生産性向上はもとより、試料採取等水質調査の高度化に資する可能性を有した新たな技術について、現地実証試験を踏まえた適用性評価等について報告する。

キーワード 新技術, 琵琶湖, 水質調査, 高度化, 水上ドローン

1. はじめに

(1) 琵琶湖の水質調査

琵琶湖の水は京阪神地域の社会・経済活動を支える貴重な水資源である。その資源を守るため、琵琶湖河川事務所では琵琶湖の水質調査を滋賀県及び独立行政法人水資源機構と共同で継続的に実施している。

現在、琵琶湖河川事務所では琵琶湖内の22地点を担当しており、事務所所有の船舶（19.9m級船舶）を用いて調査地点に行き、作業員が試料を採水、それについて生活環境の保全に関する環境基準項目等を中心に水質を調査している。

(2) 施策的観点 (DX) からの琵琶湖水質調査の課題

国土交通省では、インフラ分野のDXの取組みを進めており、2022年3月には「インフラ分野のDXアクションプラン」を制定、インフラ分野のDXの取組方針が具体化され、その一環として「現場作業の遠隔化・自動化・自律化」に関する施策を進められている。

こうした動向も踏まえ、琵琶湖の水質調査では新たな対応が求められている。それは、「①現状の採水作業についての効率化、省力化、船舶上の作業の安全性の改善」、そして「②今後の調査対象増加を想定した新たな取り組みとして、限られた人員と費用で必要十分な成果が得られるよう、技術革新を適切にとり入れて、より効果的かつ柔軟な体制への移行（高度化）」である。

(3) 新たな対応に向けた着眼点

近年、河川分野においても、「現場作業の遠隔化・自

動化・自律化」に関する施策としてドローンを活用する取り組みが積極的に行われている。

そこで、現状の琵琶湖水質調査に係る「試料採取・運搬」の要求水準を詳細に設定した上で、要求水準を満たすドローンを国内・海外事例や最新の研究開発動向を踏まえて選定、現場実証試験を通じて、適用性を評価することとした。

2. 現状の課題分析

(1) 試料採取・運搬に係る要求水準

水質調査の作業のひとつに「試料採取・運搬」があり、現状においてそれは1ヶ月に3日間の船舶利用を必要とし、また暴風等の気象状況による作業順延のリスクを有している。当該作業は新技術を活用することで、効率化・高度化の余地があると考えた。

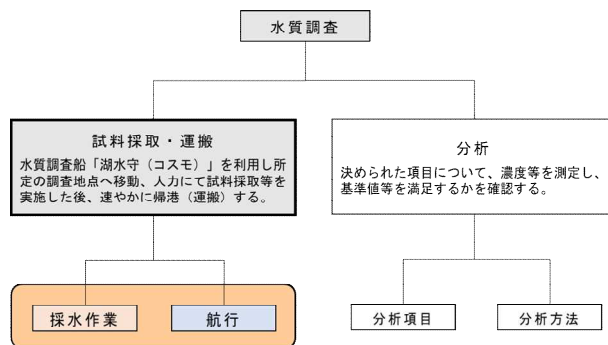


図-1 水質調査作業の分類

「試料採取・運搬」の構成要素を細分化、課題を踏まえた上で、現行の「試料採取・運搬」作業に求められる事項（要求水準）を整理した。

表-1に現行の船舶による「試料採取・運搬」の要求水準を示す。

表-1 船舶による「試料採取・運搬」の要求水準

作業項目 (★:必須性能)		船舶による試料採取・運搬に係る要求水準	
		南湖	北湖
採水作業	取水	★採水量	約 7L(共洗い含む) / 約 9L(共洗い含む)
		★採水品質	・採水作業の間、定められた深度 0.5m で固定 ・連続採水、採水開始時に容器共洗い →コンタミネーションがない
		採水時間	10分以内/地点で作業
		採水方法	電動ポンプ(採水量:約 7L/min)による連続採水
		採水人員	3名/日で作業
保管	前処理	採水後、前処理を現場(船上)で実施 ・南湖で 2L、北湖で 4L の濾過、その他	
	管理	水質分析に必要な量を確保し、冷蔵庫で低温管理	
航行	位置把握	★測位精度	概ね一致(GPS 測位) 強風・波浪時でも緯度・経度 2 秒(約 50m)以内に収まるように操船
		運搬距離・ルート	1 日で必要な採水地点を連続運航 ・1 日目: 5 地点(北湖) ・2 日目: 5 地点(北湖) ・3 日目: 12 地点(南湖)
	作業時間	出向から 6 時間以内に寄港 (寄港地は、琵琶湖内港のいずれか)	
	運航人員	3名/日(船長、船員、機関士 各 1名)	
	安全性	耐風速(耐波浪)	昨年度採水作業時平均風速: 2m/s~7m/s
衝突回避		水上の障害物(他船舶等): 移動時にはレーダーや周囲を確認、障害物との距離を十分にとって操船 水中の障害物(水草):安全上問題なく航行可能 ※南湖では水深が深いため、考慮する必要がない 採水中は船長他 2 名が周囲を監視し他船舶等との衝突回避	
機械不良		機関士が乗船しており、船上にて修復対応	
その他	現場記録	下記を調査地点で分析・記録 ・必須:透明度、水温、風向、風速、全水深、外観 ・適宜:臭気、透視度、DO	

(2) 新技術に求められる要求水準について

「試料採取・運搬」作業が可能な、新技術に求められる主な性能として以下が挙げられる。

- ・試料を取水し、保管する「採水性能」
- ・所定の位置まで安全に移動可能な「航行性能」
- ・北湖、南湖での環境（風況や植生、障害物の設置状況）が異なる中で安全に航行可能な「安全性」

また、現行の船舶による「試料採取・運搬」の要求水準を参考に、新技術に求められる要求水準を設定した（表-2参照）。

表-2 新技術に求められる要求水準

(パターン①②:南湖、パターン③④:北湖)

	南湖	
	パターン①	パターン②
	新技術単独活用 / 新技術と船舶の併用	
対象地点	全地点	湖辺部のみ (岸から操作可能な範囲)
採水性能	採水量:約 7L(複数回に分割可) 採水品質:深度 0.5m 地点でコンタミネーションがないこと	
位置把握性能	GPS 測位精度の誤差が 2 秒(約 50m)範囲内であること	
航行性能	全 12 地点を往復可能	往復可能な採水地点数
安全性	障害物(他船舶等)に対して回避可能であること	
	水草環境でも安全に走破できること ※強風・波浪環境は想定しない	

	北湖	
	パターン③	パターン④
	新技術単独活用 / 新技術と船舶の併用	
対象地点	全地点	湖辺部のみ (岸から操作可能な範囲)
採水性能	採水量:約 9L(複数回に分割可) 採水品質:深度 0.5m 地点でコンタミネーションがないこと	
位置把握性能	GPS 測位精度の誤差が 2 秒(約 50m)範囲内であること	
航行性能	全 10 地点を往復可能	往復可能な採水地点数
安全性	障害物(他船舶等)に対して回避可能であること	
	※水草の発生は想定しない 強風・波浪時(~8m/s)でも安全に航行できること	



写真-1 船上における試料採取

3. 適用可能性の高い新技術の選定

(1) 新技術の情報収集

新技術の情報収集にあたっては、試料採取・運搬が可能な技術について、水域(水面)での活用可能性を有する水中ドローン、水上ドローン、空中ドローンといった技術を対象とした。

「NETIS」登録技術の他、様々な分野の技術カタログ等も含めて候補となる技術を選定した。

(2) 新技術の適用性評価

候補として選定した新技術に対し、活用形態（新技術単独活用、船舶との併用活用）、南湖・北湖の現場特性等を踏まえて、適用性を評価した。

その結果、船舶との併用を前提に、南湖・北湖共に要求水準を満たす新技術として「水上ドローン」が該当した。

表-3に新技術の適用性評価結果を示す。

表-3 新技術の適用性評価の結果

(パターン①②：南湖、パターン③④：北湖)

技術分類	水上ドローン(ASV)	
技術概要	水上で位置測定しながら採水する技術	
技術名称	KENBOT_ASV	
採水性能	約 7L(複数回に分割可)	◎(1回)
	深度 0.5m 地点でコンタミネーションがないこと	○ コンタミネーションなし
位置把握性能	GPSにて2秒(約50m)以内の誤差	○ 誤差 10m 以内
航行性能	岸から12地点全箇所を往復可能(岸からの最大距離1900m)	○ 伝送距離 約3500m ○ 連続航行距離 約2700m(片道)
	障害物(他船舶、漁業用施設)に対して回避可能	△ 手動操縦で回避
安全性	水草環境においても安全に走破できること	○ 水草の影響を受けない
評価		適用可能性はある
採水性能	約 7L(複数回に分割可)	◎(1回)
	深度 0.5m 地点でコンタミネーションがないこと	○ コンタミネーションなし
位置把握性能	GPSにて2秒(約50m)以内の誤差	○ 誤差 10m 以内
航行性能	往復可能な採水地点数	○ 12/12 地点(岸~2700m)
安全性	障害物(他船舶、漁業用施設)に対して回避可能	△ 手動操縦で回避
	水草環境においても安全に走破できること	○ 水草の影響を受けない
評価		適用可能性はある
採水性能	約 9L(複数回に分割可)	◎(1回)
	深度 0.5m 地点でコンタミネーションがないこと	○ コンタミネーションなし
位置把握性能	GPSにて2秒(約50m)以内の誤差	○ 誤差 10m 以内
航行性能	岸から10地点全箇所を往復可能(岸からの最大距離5300m)	× 伝送距離 約3500m × 連続航行距離 約2700m(片道)
	障害物(他船舶、漁業用施設)に対して回避可能	△ 手動操縦で回避
安全性	強風・波浪時(風速)でも安全に航行可能	× 耐風速 6m/s
評価		運用できない
採水性能	約 9L(複数回に分割可)	◎(1回)
	深度 0.5m 地点でコンタミネーションがないこと	○ コンタミネーションなし
位置把握性能	GPSにて2秒(約50m)以内の誤差	○ 誤差 10m 以内
航行性能	往復可能な採水地点数	○ 8/10 地点(岸~2700m)
安全性	障害物(他船舶、漁業用施設)に対して回避可能	△ 手動操縦で回避
	強風・波浪時(風速)でも安全に航行可能	△ 耐風速 6m/s
評価		適用可能性はある

○：適用可能 △：条件によって可能 ×：適用困難

4. 現場実証試験

新技術の適用性評価結果より、長崎大学・夢想科学株式会社にて研究・開発が行われている水上ドローン「KENBOT_ASV」¹⁾が採水量や航行可能範囲等に優れており、特に適用性があると考えられた。

ただし、風況等の琵琶湖の現場特性を踏まえた安全性については、机上検討からは不透明な部分も多く、現場実証試験を通じて、性能を確認することとした。

(1) 水上ドローンの概要

試験で使用した水上ドローンの概要を表-4に示す。

- 双胴船構造の小型無人ボートに方向転換・定点保持用の4つのメインスラスタと、移動用の2つの補助スラスタを配置、全方位へ移動可能である。
- 採水機構は機体上部に搭載されている。取水用のホースは取水口が水面から0.5mに位置するよう長さを調整、ポンプによりくみ上げた水はタンクに送水するか、そのまま排水するかを操作する。排水することでコンタミネーション防止が図れる。
- プログラムによる制御により、事前に設定したルートを自動で航行、帰還が可能である。
- 衝突回避機能は未搭載のため、ルート上に障害物がある場合には、手動操縦で回避する必要がある。
- 実証試験では、現場状況の記録のためのカメラ、風向風速計を搭載した。

表-4 KENBOT_ASV 概要

機材名称	KENBOT_ASV
開発者	夢想科学株式会社、国立大学法人 長崎大学
重量	35kg
サイズ	1400×1100×750mm
スラスタ数	メインスラスタ4、補助スラスタ2
移動速度	最大速度 3m/s
動力	電池式
稼働時間	3~4時間(気温 15度の場合)
採水量	10L(5Lポリタンク×2)/回
採水時間	10L/2分
採水深	0.5m となるように固定



写真-2 KENBOT_ASVの調査状況

(2) 現場実証試験概要

現場実証試験は、2023年1月10日、11日に、図-2に示す3地点において実施し、表-5のTEP1~3に示す段階的な性能項目を確認した。なお、現場実証試験に際しては、警戒船の並走及びUAVによる上空からの確認により、実証試験実施状況の適切な把握、安全の確保に努めた。

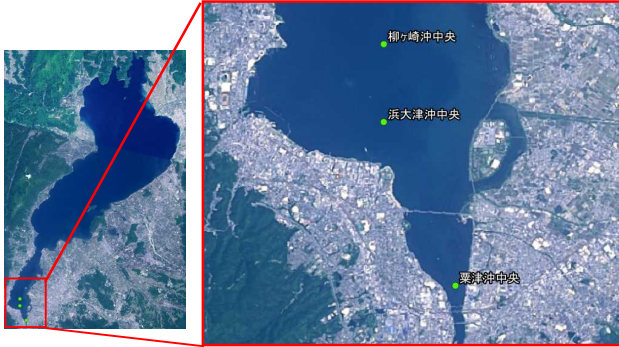


図-2 実証試験位置

表-5 実証試験位置概要

試験	採水地点	機材搬入出地点からの距離
STEP1	栗津沖中央	230m (目視可能距離)
STEP2	浜大津沖中央	830m (実績最大航行距離)
STEP3	柳ヶ崎沖中央	2300m

STEP1では、岸から目視可能な調査地点までの航行を行い、採水性能として採水量、採水品質、採水時間について確認した。

STEP2では、使用した水上ドローンの最大航行実績距離を試行した(830m)。主に航行性能に関して、指定の採水地点への移動、また航路上に障害物が発生した場合には必要に応じて回避、安全な採水が可能かを確認した。

STEP3では、STEP2よりさらに長距離となる2300mの航行を実施し、ミスや不安全作業の把握を目的とした。

(3) 現場実証試験結果

STEP1では、コンタミネーション防止のための排水、所定の水深(水面から0.5m)での採水、必要量(10L)の採水が問題なく行われていることを確認した。また、採水に要する時間(排水20秒、取水10L/80秒程度)も確認し、時間の面でも作業に支障がないとわかった。

STEP2では、これまでの実績の最大航行距離を超える840mを自動航行し、往復することが可能であった。また実証試験の期間における最大風速4.3m/sを記録したが、機体の転覆もなく安全に作業を実施出来た。

STEP3では、複数回の試行を重ねた結果、水上ドローンが岸から1460mの地点を超過すると、伝送距離の制約から通信状況に不具合が生じることが判明した。結果としては、岸から1450m地点までであれば自動航行、採水

作業が可能であることがわかった。作業時間については、1.7m/sの移動速度で、採水時間含め1時間程度であった。

以上の結果から、現在の開発フェーズにおいて、水上ドローンは岸から1450mまでの範囲における試料採取・運搬が可能であることがわかった。しかしながら、実証試験実施の時期から、水中障害物として水草の影響については判明しなかった。また今回は、安全面に配慮した試験実施とし、警戒船やUAVから常に水上ドローンを確認できる状態であったため、水上ドローンの目視外運用時の安全性については検証が不十分な部分も課題として残された。

(4) 水上ドローンの仕様

実証実験結果から水上ドローンは琵琶湖の現場条件下においても採水や航行の基本性能が機能することが把握できた。

表-6に水上ドローンの仕様をまとめた。

なお担当する水質調査地点では22地点中13地点が、水上ドローンを搬入出可能な岸から1450m以内にあり、半数以上の地点での当該ドローンの活用が期待できる。

ただし、現状では目視範囲外での水上ドローンの単独航行は安全面のリスクがあり、警戒船やUAVによる並走により目視確認を行い、障害物を回避する必要がある。

また水質調査業務にて取得している採水地点の状況等は、現状の水上ドローンの仕様では対応できていない項目もある。水上ドローンを「試料採取・運搬」の代替手段とするためには、更なる検証・改善が必要である。

表-6 水上ドローンの仕様

作業項目		現状の仕様(案)	
採水作業	取水	採水量	1航行で10L採水可能
		採水品質	深度0.5mでコンタミ混入なしの採水が可能
		採水時間	10L/2分
		採水方法	電動ポンプ(採水量:約7.5L/min)で連続採水
		採水人員	2名
	保管	前処理	※保管のフェーズは仕様に含まない
	管理	※保管のフェーズは仕様に含まない	
航行	位置把握	測位精度	緯度・経度2秒(約50m)以内
		移動運搬	運航距離・ルート
		作業時間	1450m地点への航行・採水作業で約1時間
		運航人員	2名
	安全性	耐風速(耐波浪)	~4.3m/s以下の風速で採水可能であること それ以上の風速については今後検証が必要
		衝突回避	水上障害物:手動操作で回避可能 水中障害物(水草):今後検証が必要
機械不良		警戒船の併用で対処可能	
	資機材搬入出	2~3名	
その他	現場記録	風向・風速のみ記録	

5. 水上ドローンの活用について

(1) 水上ドローンの活用拡大に向けた留意点

水上ドローンの水質調査への活用は、要求水準や実証試験での未検証項目に対し改善をすすめ、水上ドローンが活用できるフィールドを広げる必要がある。

それら改善の対象は、前述のとおり、「試料採取・運搬」のうち「航行性能」では航行可能範囲が担当調査地点をすべて網羅していないこと、また「安全性」では障害物の回避に手動操縦が必要なことや耐風速や水草の影響が明確でないこと、その他としては現場状況の記録等が現状の水上ドローンでは対応できていないこと等が該当する。また、改善策の立案は、技術開発動向を踏まえた実現可能性にも着目しなくてはならない。

(2) 水上ドローンの活用拡大に向けた提案

上記を踏まえ、水上ドローンの「試料採取・運搬」手段としての活用拡大に向けた技術開発案等を示す。

a) 航行性能の向上（航行範囲の拡大）

今回の実証試験では伝送距離がネックとなり、航行可能範囲が制限された。したがって、より長距離の航行を可能とするためには、伝送能力の向上が必要となる。

例えば、物流ドローンに関する実証試験では、通信範囲の広いLTEを利用することで、片道10kmの長距離飛行に成功している。²⁾ また昨年、ドローンのレベル4飛行が解禁され、各通信会社からLTE通信を利用したドローン遠隔飛行のためのサービスが提供され始めた状況である。琵琶湖水上でもLTEを利用することで、より長距離の航行が可能になると考えられる。

b) 安全性の向上

安全な航行の実現に向けて、障害物回避機能の搭載は必須である。例えば、自動車の自動運転技術にはLIDARというセンサーが活用されている。発射するレーザーにより物体との距離を正確に測定することができるため、障害物との接触回避が可能となる。

c) 未検証項目の確認

今回の実証試験で確認できなかった水草の影響や、より悪い風況下での運用状況については、検証時期や場所といった条件を変更して検証することにより、活用可能性の可否がより明確になる。

d) 現場記録の取得（高度化）

現場記録の取得は、簡易に搭載可能な水質計や360°カメラ搭載により一部項目が計測可能となる。現状では、水中ドローンに搭載可能な水質計も販売されており、これらを使用した環境調査の取り組みも進んでいる。

これらに示す水上ドローン自体の開発案に加え、船舶による採水作業の代替手段として水上ドローンを運用していく場合には、航行ルート等の運用計画の策定や、職員の機器の操作の習得、また、水上ドローンの目視外自動航行に関するルール整備等が必要となってくる。

6. 考察

水上ドローンによる採水は、現状の水質調査の仕様に对应できていない部分もあるが、採水性能や航行性能は備わっており、今後の技術開発次第では、現状の船舶による採水作業の代替手段となる可能性を有している。

その可能性を次の段階へと発展させるためにも、水質調査仕様への対応を念頭においた近畿地方整備局インフラ DX 推進本部会議を通じた技術開発の推進や、前述の通り他分野での開発技術について水質調査への適用性検証等を実施し、それらを琵琶湖での採水へとフィードバックする。そういった試行錯誤を継続することで、前例のない水質調査の高度化といった今回の取り組みは、実現に向けて加速していくものと考えられる。

7. 結論

本研究は、船舶を使用して採水、試験機関にて分析している琵琶湖の水質調査に対して、必要事項（要求水準）を詳細に整理した上で、適用可能性のある新技術の仕様や導入に向けた計画を実証試験等を通して整理し、とりまとめた。

要求水準については、「試料採取・運搬」について設定し、琵琶湖の現場特性等を考慮した上で適用可能性のある新技術を整理した。

最も適用性があると認められた水上ドローンについて、各種性能を検証するため、現場実証試験を実施した。その結果、本水上ドローンの採水可能量は10L、移動速度は1.7m/sであることが明らかとなり、使用に際しても特に問題となる不安全行動はなかった。また、航行可能距離は岸から1450mまでであった。

それらの結果を踏まえ、水上ドローンと船舶を併用する運用方法を検討したところ、定期採水に係るコスト削減の可能性が示唆された。

最終的なとりまとめとしては、試料採取等水質調査の高度化を図るため、水上ドローンに係る段階的開発目標と現場実装に向けた道筋を示した。

謝辞：本取り組み及び本稿をまとめるにあたりご指導・ご協力を頂きました皆様に心から感謝致します。

参考文献

- 1) 国土交通省：点検支援技術性能カタログ,2023年3月,<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/inspection-support/pdf/c/BR010031.pdf>, (閲覧日：2023/4/28)
- 2) NTTドコモ：報道発表資料 日本初のドローン向け新料金プラン「LTE上空利用プラン」の提供を開始, 2021年7月8日,https://www.docomo.ne.jp/info/news_release/2021/07/08_00.html, (閲覧日:2023/4/28)

