

(2) 構造条件

現状の無人航空機の性能を調査し、運搬可能な構造条件を整理した。

- ・質量：25kg以下
- ・寸法：0.6mφ×0.6mH以下

(3) 観測機器仕様の検討

機器仕様について、GNSS(PPP-RTK：精密単独測位型相対測位) (以下「高精度GNSS」という)、圧力式水位計の比較を行い、バッテリー、通信機も含めて機器構成を検討した。

GNSSとは衛星測位システムの総称で、米国のGPSも含まれる。また、高精度GNSSは単独測位に衛星毎の補

正情報を追加することで精度を向上する技術であるが、受信機が高価である。

最適な計測方法は高精度GNSS、圧力式水位計の2タイプが考えられる(表-1)。

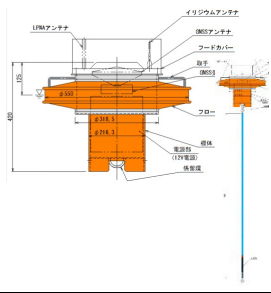
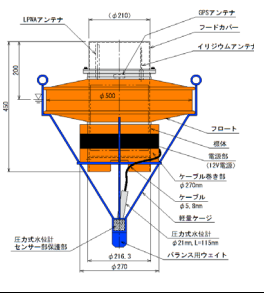
①現行機器の小型化・軽量化タイプ(圧力式水位計)

現行機器の圧力式水位計ケーシング部は、沈下させる際の沈下抵抗により揺動しやすく、送り出しに不具合がでる可能性があるため、ブイ本体に送り出し機能(スピニングリール技術の応用)を持たせ、軽量化したケーシング部のプロトタイプを作成し沈下抵抗実験を行い、沈下時の直進安定性の高い形状を採用した(図-3)。

②高精度GNSSによる水面標高観測タイプ

2019年度の調査時は水面標高観測用の高精度GNSSパーツは約300万円であったが2020年度時は約80万円と、今後普及に伴う低価格化と小型化・軽量化が期待される状況にある。

表-1 機器仕様比較

項目	高精度GNSS水面標高観測タイプ	現行機器の小型化・軽量化タイプ
模式図		
機能等	<ul style="list-style-type: none"> ・構成：水面に浮くブイと漂流対策装置 ・機能：GNSSで水位標高を計測し、監視局に伝送。 	<ul style="list-style-type: none"> ・構成：水面に浮くブイと水底に固定されるアンカーケーシング(圧力式水位計) ・機能：水位計で水位を計測し、ケーブルを介してデータを伝送。ブイから水深データを監視局に伝送。
重量	約21kg	約18kg
方法	衛星通信+LPWA	衛星通信+LPWA
精度	1cm級 ※標高値(GNSS)	1cm級 ※水深(水圧式水位計) ※初期水位観測精度に依存するため実用精度は1m級
短所等	<ul style="list-style-type: none"> ・実証事例なし ・データ取得は衛星捕捉状況に影響される 	<ul style="list-style-type: none"> ・実証事例なし ・ケーブル長(50m)以上は計測不能 ・水底の変動による計測水深影響大 ・観測誤差は初期水位観測精度に依存
長所等	<ul style="list-style-type: none"> ・ドローン等での投下が可能 ・水深によらず直接水面標高が計測可能 ・根掛かりのリスクが低い漂流対策 ・水底の変動による計測結果影響なし ・天然ダム以外の様々な現場でも活用できる可能性 	<ul style="list-style-type: none"> ・ドローン等での投下が可能 ・アンカーケーシングの沈下抵抗、巻き出しの課題を改良
評価	水底の変動が計測結果に影響しないこと、水深によらず直接水面標高を計測できること、等のメリットがあり、GNSSの適用、漂流対策の適用から将来性大	現行機の短所について改善されているもののケーブル長などの根本的な課題がある
	◎	△

バッテリーについては、天然ダムという稀な災害に対応すること、充電に要する時間や安全性、安定性、入手性などの即応性を重視し、アルカリ乾電池を採用した。

なお、高精度GNSS+現行機器小型化・軽量化のハイブリッドタイプも検討したが現状の技術水準では重量が25kgを超過する。そのため、将来性や汎用性から高精度GNSSによる水面標高観測タイプを採用し、概略設計した。

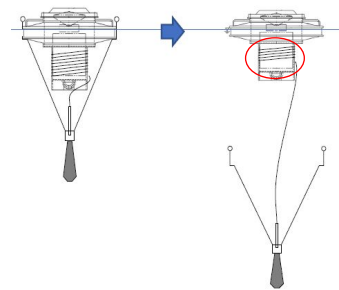


図-3 ブイ本体に送り出し機能を付加

表-2 モニタリングシステムの検討結果

項目	選定結果	選定理由
通信方法	衛星通信とLPWAの二重化	・衛星が捉えられない環境、4G回線の不感帯であってもデータを伝送できるため(LPWAと4G回線間は、プロバイダ契約が必要)
伝送仕様	土木研究所によるメール伝送仕様を採用	・土木研究所によるメールを活用した伝送仕様を採用する(現行機器では、上述した伝送仕様を利用されており、同一仕様を利用できること、以下の既存のモニタリングシステムが利用できるメリットがある)。
モニタリングシステム	北陸地方整備局の天然ダム水位予測システムを利用	・既存システムを一部改良することで活用できるため、開発コストを削減できる(北海道での天然ダム発生時に実際に利用された実績がある。なお、既存システムでは水深データを水面標高に換算してモニタリングするため、直接GNSSで計測した標高値を取り込む場合は、既存システムの改良が必要)。

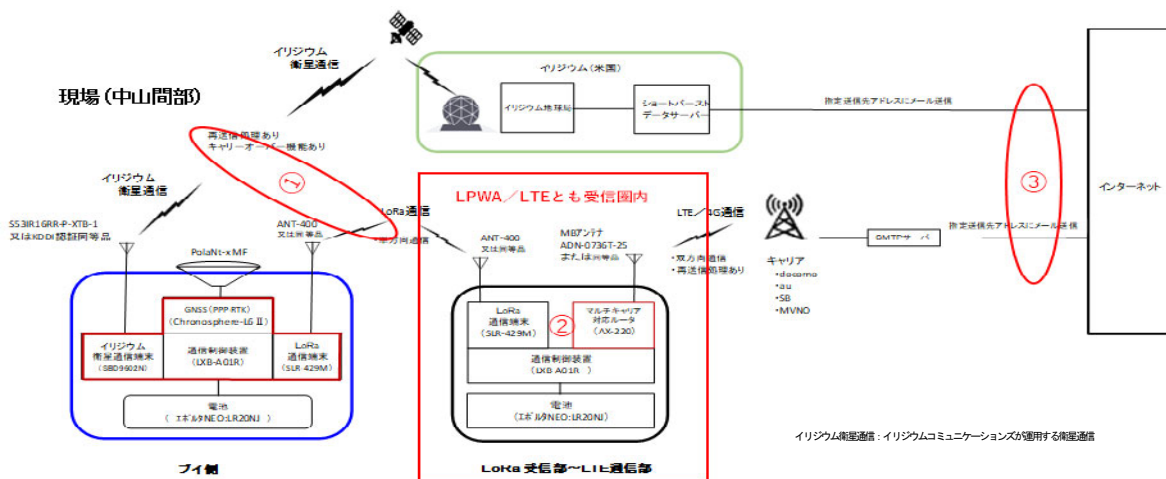


図4 観測ブイからインターネットまでの機器及びシステム構成図

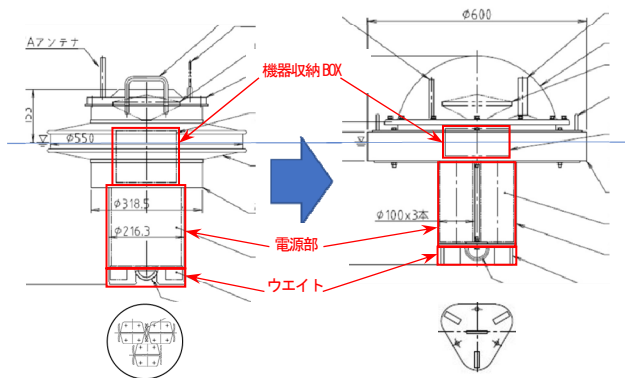


図5 機器形状の改良

(4) モニタリングシステム

モニタリングシステムについては、衛星通信とLPWA(Low Power Wide Area)の二重化システムとし、現行機器と整合する観測データ伝送仕様を採用し、北陸地方整備局で採用している天然ダム水位予測システムを活用することで開発コスト削減をはかるものとした(表-2)。LPWAは通信速度は数kbpsから数百kbps程度と低速だが、省電力で、数kmから数十kmもの通信が可能な広域性を有している。

上記検討結果からシステム構成は図-4のとおりとした。LPWAは無線免許不要なLoRaWANを採用し、インターネットへの接続を目的として、中継局の設置、LTE通信での接続を設計した。

図-4中の①～③は以下のとおり。

- ①ブイ側からの通信方法：衛星通信とLPWA(LoRaWAN)による二重化通信
- ②中継局の設置：LPWAのインターネット接続のための中継局を設置
- ③データ送信方法：衛星通信は従来通り。LPWAはメールにGNSSデータを添付

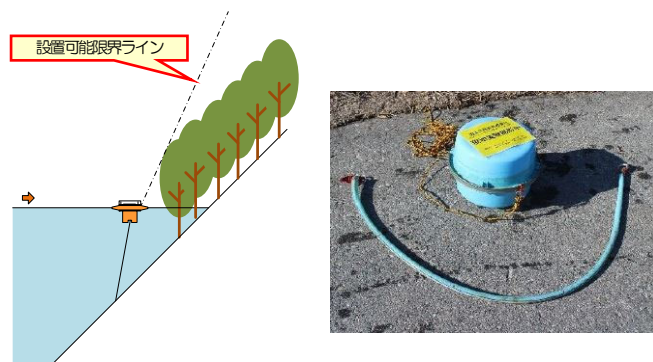


図6 漂流・漂着抑制機能と模擬ブイ・ホース

(5) 機器形状の改良

概略設計では内部機器の詳細寸法、質量は仮定のものであった。詳細設計を行ったところ、水中部の機器収納スペースが増大することが判明し、それに伴う浮力増により+5kg強のウエイトを追加する必要があり、全体質量は26kg強となった。そのため、当初の構造条件を満たすために機器形状を見直すものとした(図-5)。

- ・GNSS受信機等の配置を見直し、機器収納BOX高さを減少。
- ・電源部をスリム化、水中部機器収納スペース減少により浮力を減少。

上記により、機器形状見直しと浮力減少によるウエイト軽量化で全体質量21kgとなり構造条件を満たすことができた。

(6) 漂流・漂着抑制

確実な観測データ取得のためには観測機器を設置箇所に係留する必要があるため、漂流・漂着抑制機能を検討した。機器下部にホースと重りを付けることで水中抵抗が発生し係留される(図-6)。検証のため、模擬ブイ本体下部にホースと重りを付加したプロトタイプを作成し、ダム湖に約2週間設置し現地実験を行った。実験の結果、

漂流・漂着を抑制し根掛かり防止機能と両立することを確認した。

(7) 無人航空機への搭載

観測機器を運搬可能な無人航空機は表-3のとおり。検討にあたって各メーカーにヒアリング調査した結果、大型ドローンによる運搬ニーズの高まりから、大型ドローン及び把持装置が開発されつつあり、ドローンによるテザー投下（吊り下げロープを使用した降下・設置法）が現実的であると判断された。また、機械式フックについて、プロトタイプを試作し、投下・把持・分離について良好な結果を得た。

3. 運搬・設置に関する検討

運用時はドローンに観測機器を吊り下げて飛行することになるため運搬・設置に関する検討を行った(図-7)。

①離陸方法

- ・コンクリートブロック等の台座を用意し、観測機器の設置スペースを確保する。
- ・ドローンと観測機器それぞれを地面に置いた状態で離陸し、離陸後に観測機器を巻き上げる。

②運搬方法

- ・飛行時の振動や揺れを抑えるため吊り下げ物は機体に固定もしくは近接させて運搬する。
- ・樹木等へ障害物への接触を回避するため、十分な飛行高度を確保するとともに吊り下げ長を短くする。

③投下方法

- ・上空から投下した場合、観測機器に大きな衝撃を与えるため、ウインチを用いて水面まで降下させる。

表-3 運搬可能な無人航空機

	A社	B社	C社
サイズ (飛行時)	L2.0m×W2.6m ×H1.0m	L1.9m×W1.6m ×H0.8m	L1.9m×W2.1m ×H0.5m
機体重量	37kg	17kg	17kg
積載量	25kg	30kg	30kg
飛行可能 距離	2km(片道 1km)	2km(片道 1km)	2km(片道 1km)

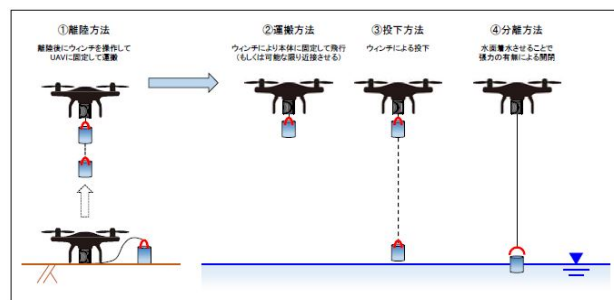


図-7 運搬・設置のイメージ

④分離方法

- ・観測機器を水面着水させる（張力を失う）ことで開閉するフックにより、静かに設置する。
- ・ラインを巻き上げ帰還する。

上記検討内容を、水を入れたパール缶を観測機器の代用品としてドローンに吊り下げて運搬・設置の実証試験を湖で行った結果を以下に示す。

①離陸方法

- ・ドローンと観測機器それぞれを地面に置いた状態で離陸して問題なかった。
- ・台座を使用した場合は標高値に若干のズレが生じるデメリットがあった。

②運搬方法

- ・観測機器の吊り下げ長1~2m程度であれば安定した飛行が可能であった。

③投下方法

- ・高度10mから投下した際、着水時の衝撃でパール缶に凹みが生じるのを確認した。
- ・ウインチによるテザー投下は高高度になると巻き下げ時間が長くなり飛行時間が短くなる。また、振り子の原理で機体の揺れが増大する危険性が考えられる。そのため高度10m程度で巻き下げを推奨。

以上の実証試験で得られた課題を踏まえ、水面標高観測機器の運搬・設置の推奨案を整理した(図-8)。

4. 検討成果

以上の検討結果を踏まえ製作仕様、図面を作成した(図-9, 10)。

仕様として、質量約21kg、寸法φ600mm×575mmHとなり当初の構造条件をクリアでき、要求性能も満足した。

現行機器約70kgから開発機約21kgへ減量し、タイトルの“-50kgでドローン輸送可能に進化！~天然ダム水位観測機器の開発~”となった。

また、モニタリングシステムも衛星通信とLPWAの二

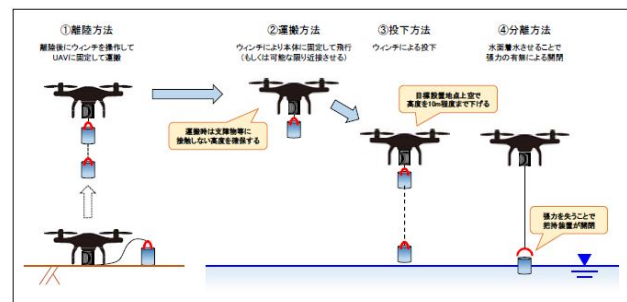


図-8 運搬・設置の推奨案

重化システムとし機能性を向上した。

本開発成果については、技術研究開発成果として職員用イントラネットの「KYUTIS」に掲載しているので、興味のある方は参考にされたい。

5. おわりに

今回の開発成果によりドローン輸送可能な水面標高観測機器を試作可能な設計ができたため、初期の天然ダム水位モニタリングに寄与すると考える。昨今、大型ドローンのニーズが高まっていることや、GNSSの普及により今後は運搬条件の拡大や構成部品の低価格化が期待できる。また、本機は天然ダムの水面標高観測を目的としているが、活用場面としてその他の水域の水面標高や陸上標高の計測も可能である。例えば、大規模災害時における浸水標高を安全かつ迅速に計測できることから、ため池や内水被害箇所の水位計測への活用、地震や土砂災害箇所における地盤等の変位計測など、幅広く活用が期待できる。

謝辞： 今回の検討・開発にあたりご協力いただいたパシフィックコンサルタンツ株式会社の皆様に感謝の意を表す。

付録

天然ダム（河道閉塞）：大雨等により大量の土砂などが河川の水をせき止めダムができる現象。

参考文献

- 1) 「土研式投下型水位観測ブイ」国立研究開発法人土木研究所 火山・土石流チーム資料

一般仕様書

名 称		水面標高観測ブイ (GNSS 方式)	備 考	
観測仕様	観測項目	年月、日時、緯度経度、標高値、電圧		
	観測モード	10分毎 (1分間/回起動)		
	送信データ	Eメール添付テキストファイル		
	通信間隔	10分毎		
通信制御部	GNSS 受信機	Chronosphere-L611		
	GNSS アンテナ	PolaNt-x MF		
	通信端末	イリジウム SBD9602N / LPWA SLR-429M		
	アンテナ	イリジウム (S531R16RR-P) / LPWA (ANT-400-SFW)	イリジウムは KDDI 認証品	
	制御装置	LXB-A01R		
	専用ケース	SPCM182508		
	重 量	アンテナ部 0.8kg 制御部 1.5kg	ケーブル類含む	
電源部	電源種類	1次電池		
	電池種類・個数	単1型アルカリ乾電池 (エボルタ NEO : LR20NJ) 24個	8直列×3並列	
	運用期間	7日		
	重 量	電池 3.36kg 電池ケース 1.44kg		
ブイ標体	形 状	円盤型		
	寸 法	φ600mm × 575mmH		
	各部主要材質	フードカバー：ポリカーボネイト樹脂	1.5kg	t=4
		標体部：アルミニウム合金 (A5052)	7.5kg	t=4 (主要部)
		フロート部：発泡樹脂+ウレタンコート	2.4kg	t=2 (コート厚)
	ウエイト部：SUS304	2.6kg		
重 量	フード、標体、フロート、ウエイト合計	14.0kg		
塗色	フードカバー：クリア			
	ブイ標体部：黄 (またはオレンジ) フロート部：黄 (またはオレンジ)			
全体	総質量	約 21kg (機器・電池・ブイ標体含む)		
	全浮力	約 285N (約 29kgf)		

※上記寸法・重量は製作設計時により多少変更になる場合があります。

図-9 製作仕様

