

環境省
令和4年度環境技術実証事業

自然環境保全技術領域及び
水・土壌環境保全技術領域

実証報告書

令和5年3月

実証機関 : 一般社団法人埼玉県環境検査研究協会
実証対象技術名 : 水草刈取専用船
アクアティックウィードハンター
実証申請者 : 株式会社テクアノーツ
実証番号 : 140-2204



本実証報告書の著作権は、環境省に属します。

－ 目 次 －

全体概要	1
1. 実証対象技術の概要	1
2. 実証の概要	2
3. 実証結果と考察	2
4. 参考情報	4
本編	5
1. 本事業の概要	5
1.1 目的	5
1.2 実証の定義	5
1.3 実証報告書の概要	5
2. 実証体制と実証参加者の責任分掌	6
3. 実証対象技術の概要及び仕様	8
3.1 実証対象技術の原理及び目的（環境保全・改善効果等）	8
3.2 実証対象技術の構成	9
3.3 実証対象技術の仕様	11
3.4 実証対象製品の運転・維持管理に必要な作業項目、使用者の技能	13
3.5 実証対象製品が必要とする条件の制御、注意事項	14
4. 既存データ	16
4.1 既存データ	16
4.2 既存データの活用	16
5. 実証（試験）方法	17
5.1 実証の全日程	17
5.2 試験実施場所の情報	17
5.3 監視項目	18
5.4 実証項目、実証する性能及び参考項目	19
5.5 実証方法	20
5.6 環境影響、運転及び維持管理項目	28
6. 試験結果及び考察	29
6.1 監視項目（気象条件）	29
6.2 実証項目	30
6.3 参考項目	36
6.4 環境影響、運転及び維持管理項目	42
7. 所見（実証結果のまとめ）	44
付録	45
1. 専門用語集	45
2. 品質管理に関する事項等の情報	48
2.1 データの品質管理	48
2.2 品質管理システムの監査	48
資料編	49
1. 実証対象製品による水草刈取の様子（代表的な1地点の刈取経過写真）	49
2. 気象条件の詳細	50

全体概要

実証対象技術	水草刈取専用船 アクアティック ウィードハンター
実証申請者 所在地	株式会社 テクアノーツ 埼玉県川口市芝下一丁目1番3号
実証機関 所在地	一般社団法人埼玉県環境検査研究協会 埼玉県さいたま市大宮区上小町1450番地11
実証期間	令和4（2022）年6月28日～9月13日
技術の目的	実証対象技術は、湖沼等に異常繁茂した水草を切断し、水系から排除することで、景観や溶存酸素量等を改善し、また生態系を健全化することを目的としている。

1. 実証対象技術の概要

1.1 原理及び技術の目的（環境保全・改善効果）、特徴

実証対象技術は、バリカン状の刈取ナイフにより浮葉性、浮遊性の水草等を切断し、コンベアにより貯蔵・搬出が可能な水草の刈取専用船である（下図）。本技術を利用して水草を効率的かつ大量に排除することで、湖沼等の生態系を健全化させることに利用できる。さらには、水草の繁茂が過剰となった水域で見られる溶存酸素量の不足等の改善にも寄与することができ、水質保全上の管理も可能になると考えられる。これらのことから、実証対象技術は、自然環境や水環境の保全に有用な技術であるといえる。



図 実証対象製品の外観

1.2 機器の仕様、適用範囲（詳細は本編 11～15 頁参照）

サイズ（mm）	全長：9,050、全高：2,250、全幅（輸送時）：2,590／（運転時）4,360
重量	3,500 kg
推進方法	油圧モーター稼働（油圧転倒格納式独立リバーシブルパドルホイール）
航行可能水深	50 cm 以上
刈取水深	最大 1,500 mm
最大積載容量	6 m ³
最大積載重量	1,360 kg
適用可能な水草の種類	・沈水性の植物（オオカナダモ、ハゴロモ等） ・浮葉性の植物（ヒシ、スイレン等） ・浮遊性の植物（ボタンウキクサ、オオサンショウモ等）
条件付きで適用可能な水草	・ハス（抽水性）：上方のみ可 ・ホテイアオイ（浮遊性）：大きなものは刈払機等との併用が必要

※最も広く用いられる機種の仕様を示している。水域によって適したサイズ・能力の機種を選択する。

2. 実証の概要

2.1 実証の目的

各種の障害を引き起こす水草の大量繁茂が問題となっている国内の湖沼を対象として、ドローンによる空撮及び画像解析によって、実証対象製品による水草の刈取面積を計測することで、実証対象製品の水草の刈取能力を調査した。さらに、溶存酸素量等の水質を測定することで、刈取による水質の改善効果を確認した。

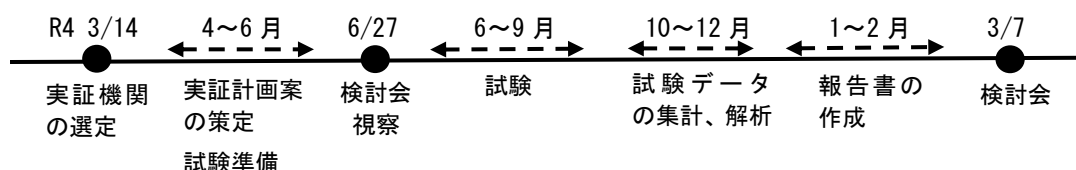
2.2 性能を示す項目及びその定量的値（実証項目及び実証する性能値）

実証項目	実証する性能（値）
刈取面積	試験期間中の平均で 1,500 m ² /日以上（1日8時間稼働時）

2.3 実証場所

試験実施場所	諏訪湖（長野県岡谷市、諏訪市、諏訪郡下諏訪町）
面積 / 水深	13.3 km ² / 最大 6.5 m
水草の繁茂状況と刈取対象	大量繁茂して問題となる主な水草は、浮葉植物のヒシである。夏季において湖岸に広範囲に繁茂する傾向にあり、景観悪化、船舶の航行の妨げ、底層等の溶存酸素の低下等が問題となっている。 本試験における刈取対象はヒシとした。ヒシは在来種であるが、海外では外来種として駆除対象となることもある。

2.4 実証期間（スケジュール）



3. 実証結果と考察

3.1 監視項目（詳細は本編 29 頁参照）

試験実施期間中の各日の平均気温は 20～28℃の範囲で推移した。試験期間が夏季であったため、降雨が度々確認された。3 回の水質調査日のうち、初回（開始時調査）については、前々日、前日、当日に降雨が認められたため、水質への影響が懸念されたが、濁度は低く保たれていたことから、大きな影響はなかったと推測される。

3.2 実証項目及び参考項目（本編 30～41 頁参照）

次頁に示すドローン空撮及び画像解析結果に基づき、ヒシ繁茂範囲のうち、南部と北部の 2 箇所において刈取面積を算出した。刈取 1 日あたりの試験期間中の平均刈取面積は 5,100 m²/日であり、実証する性能を満たしていた。北部は南部に比べ、1 日あたりの刈取面積が小さかった。これは主に水草の密度の違いによるものと考えられる。北部は夏季の後半の時期に刈り取られたため、夏季の前半の時期に刈り取られた南部よりも、水草の密度が高かった。また、南部の刈取エリアでは、刈取から約 2 ヶ月経過した時点で、面積割合で約 11%の範囲で水草の再繁茂が見られた。

表 実証対象製品による水草の刈取面積、再繁茂面積、密度

区域	実証項目				参考項目	
	刈取面積 (m ²)	刈取日数 (日)	1 日あたりの刈取面積 (m ² /日)	実証する性能 (m ² /日)	再繁茂面積 (m ²)	水草の密度 (kg/m ²)
南部	104,100	16	6,510	—	11,400	1.65
北部	38,800	12	3,230	—	0	4.25
合計	142,900	28	5,100	1,500 以上	11,400	2.36

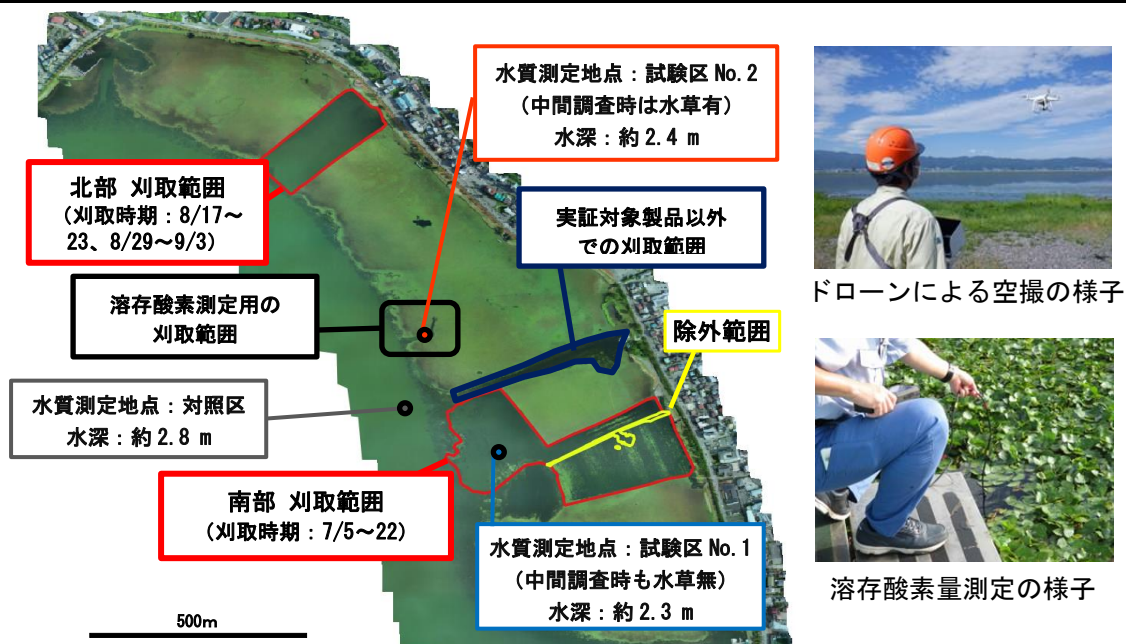


図 終了時調査（刈取後）のドローン空撮画像、水質測定地点、試験の

中間調査時の溶存酸素量の測定結果を以下に示す。水草を刈り取った試験区 No.1 においては、対照区と同等の溶存酸素量まで改善していたが、刈取を行わなかった試験区 No.2 においては、底層に行くほど溶存酸素量が低下し、底層では 2 mg/L 以下の貧酸素状態であった。

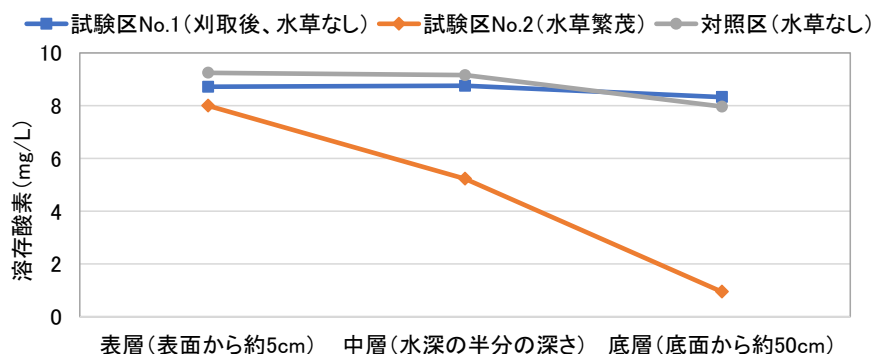


図 中間調査における溶存酸素の測定結果（7/25 11:30 頃、晴）

3.3 所見（詳細は本編 44 頁参照）

項目	所 見
技術 全体	実証対象技術は、湖沼に異常繁茂した水草の切断・貯蔵・搬出が可能な刈取専用船であり、幅広い天候にて航行可能である。諏訪湖に異常繁茂するヒシを対象として、1日約8時間運転した場合、試験期間中の平均で 5, 100m ² /日の刈取能力を有していた。南部の刈取エリアでは、刈取から約2ヶ月経過した時点で、面積割合で約11%の範囲で水草の再繁茂が見られた。既存データより、実証対象製品による水草刈取は、長期的に見ても諏訪湖の水草繁茂の抑制に寄与していると推測された。諏訪湖における水草の異常繁茂は溶存酸素量の深刻な低下を招いていたが、実証対象製品で刈取することで、溶存酸素量の大幅な改善が見られた。これは、刈取によって日光が水中に届くようになったために光合成が起こり易くなったこと、また湖水が流動し易くなったために表層の酸素が底層まで届き易くなったためであると考えられた。実証対象製品による水草の刈取は、湖沼の景観等の改善をもたらすのみでなく、溶存酸素量の改善に伴う利用目的の制限解除や、水生生物の生息・再生産環境の創出（復元）にも寄与できると考えられた。
その他	水草繁茂範囲全体に占める刈取範囲の割合は小さかった。刈取範囲がより大きかった場合には、さらに高い溶存酸素改善効果が見られた可能性がある。

4. 参考情報

注意： このページに示された情報は、技術広報のために全て実証申請者が自らの責任において申請した内容であり、環境省及び実証機関は、内容に関して一切の責任を負いません。

4.1 製品データ

項 目		実証申請者又は開発者 記入欄			
製品名		水草刈取専用船 アクアティック ウィードハンター			
製造(販売)企業名		株式会社テクアノーツ			
連絡先	TEL/FAX	TEL: 0584-89-0320 / FAX: 0584-89-0350 (中部事業所)			
	Web アドレス	http://www.tequanauts.co.jp/			
	E-mail	eigyo.c24@tequanauts.co.jp			
設置・導入条件		25t ラフテレーンクレーン、10t トラックが進入可能であり、電線等の障害物が搬入経路内にないこと			
必要なメンテナンス		100 時間毎の定期点検（油脂類交換）、事業終了時の総合点検整備/年			
耐候性と製品寿命等		（実績として 15 年以上）			
施工性		オペレータ 1 名にて操縦、ブリッジのレバーから各油圧を操作			
コスト		費用	単価	数量	計
概算 A 刈取作業 （条件：都度見積）	1 日作業費（直工費）		都度見積	/日	1 例 30 万円前後
	輸送費（大型トラック）		都度見積	/回	1 例・往復 30 万前後
	その他費用（処分費等）		都度見積		
概算 B 販売 （条件：都度見積）	イニシャルコスト（代表的な機種である WH-1500SB の場合） 税抜・概算				
	本体価格		56,000,000/式	一式	56,000,000 円
	輸送費（大型車両トラック）		都度見積	/回	
	搬入出用クレーン車（25 t）		80,000/回	/回	80,000 円
	メンテナンスコスト ※消耗品、点検費は年当たりに換算				
	エンジンオイル		750 円/L	24L/年	18,000 円/年
	エンジンオイルフィルタ		2,500 円/個	4 個/年	10,000 円/年
	生分解性油圧作動油		1,250 円/L	100L/年	125,000 円/年
	油圧作動油フィルタ		13,000 円/個	1 個/年	13,000 円/年
	ガイドブロック		3,300 円/個	8 個/年	26,400 円/年
	ロッドエンドベアリング		2,500 円/個	6 個/年	15,000 円/年
	合計		56,287,400 円＋輸送費等		

4.2 その他メーカーからの情報

- ・刈取り・運搬・揚陸の機能を 1 台で担うことができるため、運用において経済的です。
- ・一般的な船舶では航行できないような、水草が繁茂している水域においても航行可能です。
- ・施工条件により、バージや船外機等のオプション追加が可能です。
- ・部材費・供給に変動が大きいいため、金額・納期は都度見積によるものとします。

本編

1. 本事業の概要

1.1 目的

環境技術実証事業（以下「実証事業」という。）は、既に実用化された先進的環境技術の環境保全効果、副次的な環境影響、その他、環境の観点から重要な性能（以下「環境保全効果等」という。）を第三者が客観的に実証することにより、環境技術実証の手法・体制の確立を図るとともに、環境技術の利用者による技術の購入、導入等に当たり、環境保全効果等を容易に比較・検討し、適正な選択を可能にすることにより、環境技術の普及を促進し、環境保全に寄与し、中小企業の育成も含めた環境産業の発展に資することを目的とする。

実証事業は、国際規格であるISO 14034：2016〔Environmental management -- Environmental technology verification (ETV)：環境マネジメントー環境技術検証（ETV）〕に準拠しており、国際的に統一された枠組みで実証事業を運用している。

1.2 実証の定義

本実証事業において「実証」とは、環境技術の開発者でも利用者でもない第三者機関が、環境技術の環境保全効果等を試験等に基づき客観的なデータとして示すことをいう。なお、環境技術とは環境改善効果又は環境保全効果をもたらす先進的技術並びに環境に関する先進的な測定技術と定義する。「実証」は、一定の判断基準を設けて、この基準に対する適合性を判定する「認証」とは異なる。

1.3 実証報告書の概要

本報告書は、環境技術実証事業実施要領〔環境省大臣官房総合政策課環境研究技術室：令和4年4月1日〕（以下「実施要領」という。）の「別紙4 実証報告書及び実証報告書概要版に記載する事項」及び「別紙5 実証報告書作成要領 Ver.3.2」に基づき、作成されたものである。

本実証では、実施要領に基づいて実証対象技術として選定された「水草刈取専用船アクアティック ウィードハンター」について、以下に示す環境保全効果等を客観的に実証した。

また、本報告書は、専門家で構成される技術実証検討会において、実証結果に基づき、実証対象技術の環境改善効果等について検討を行った。本報告書はその実証結果を取りまとめたものである。

- ・実証申請者が定める技術仕様の範囲での、実際の使用状況下におけるによる環境保全効果
- ・使用に必要なエネルギー、物資、廃棄物量及び可能な限りコスト
- ・適正な運用が可能となるための使用環境
- ・使用及び維持管理にかかる労力

2. 実証体制と実証参加者の責任分掌

実証に参加する組織及び実施体制を図2-1に示した。また、実証参加者と責任分掌を表2-1に示した。

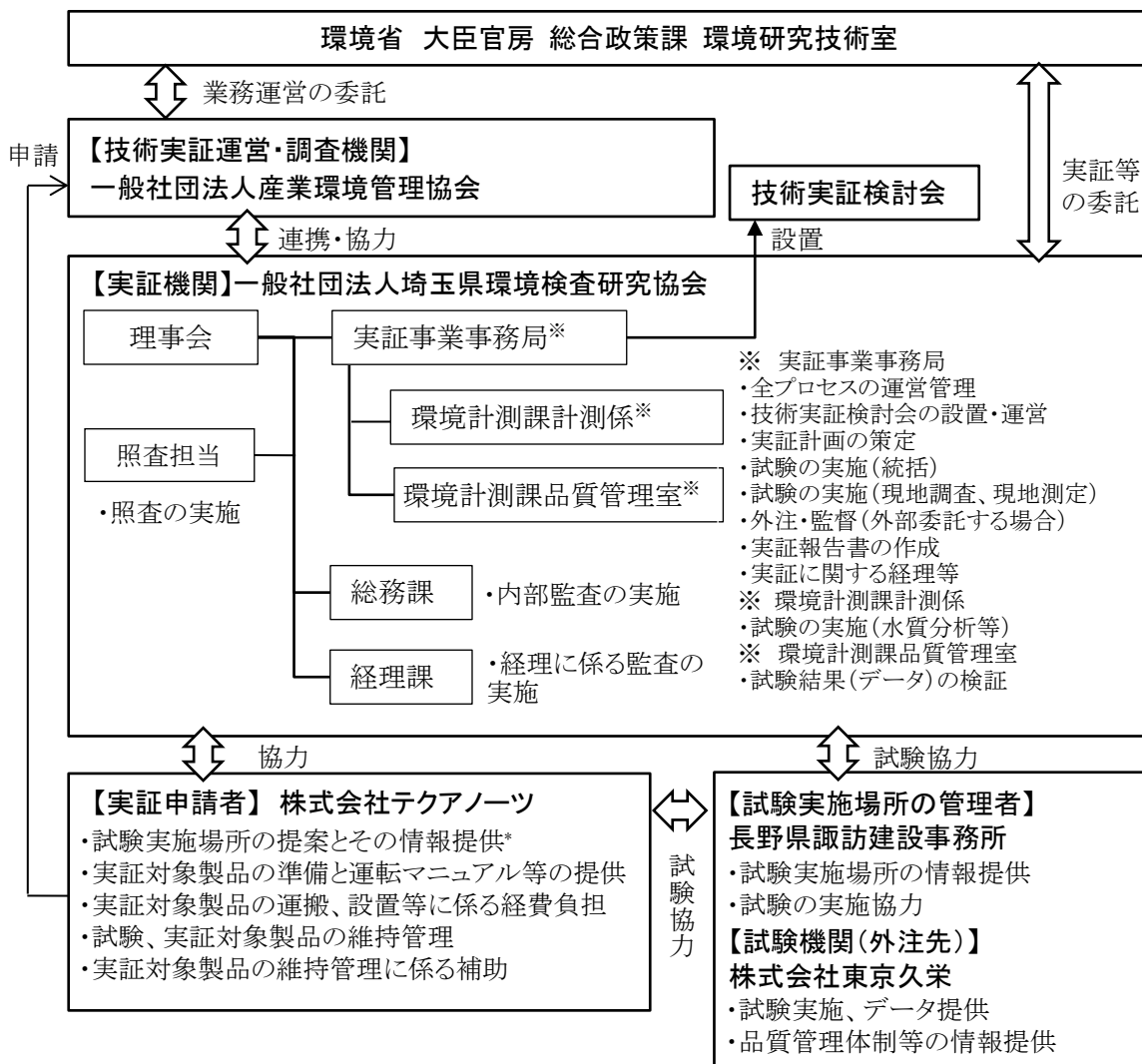


図2-1 実証に参加する組織及び実施体制

表 2-1 実証参加者と責任分掌

区 分	実証参加機関		責 任 分 掌	参 加 者
実証機関	一般 社団法人 埼玉県環 境検査研 究協会	統括・ 計画管理	実証事業の全プロセスの運営管理	実証事業事務局 山岸 知彦 長濱 一幸 野澤 勉 大塚 俊彦 岸田 直裕
			技術実証検討会の設置・運営	
			実証計画の策定	
			試験の実施（統括）	
			実証報告書の作成	
			外注・監督（外部委託する場合）	
		採取・ 現地調査	試験の実施（現地調査、現地測定）	環境計測課長 津田 啓子
		分析	試験の実施（水質分析等）	
			試験データ及び情報の管理	環境計測課品質管 理室長 高橋 広土
		データの 検証	試験結果（データ）の検証	
		内部監査	内部監査の実施	総務課 ISO 担当 榊原 稔
実証 申請者	株式会社 テクアノーツ	経理	実証に関する経理等	実証事業事務局 岸田 直裕
		経理監査	経理に係る監査の実施	財務本部長 浅川 進
		照査	実証に関する照査の実施	照査担当理事 野口 裕司
			既存データと試験機関の情報の提供	中部事業所 第 24 営業部 テクニカル・アド バイザー 宮口 晃
			試験費用負担	
			試験実施場所の提案とその情報の提供	
			実証対象製品の準備と運転マニュアル 等の提供	
			実証対象製品の運搬、設置、撤去に係る 経費負担	
			実証対象製品の維持管理に要する費用 負担	
			必要に応じて実証対象製品の維持管理 に係る補助	
試験 実施場所 の管理者	長野県 諏訪建設事務所		試験実施場所の情報の提供	—
			試験の実施協力	
試験機関	株式会社 東京久栄		試験実施（ドローン計測）、データ提供	
			品質管理体制等の情報提供	

3. 実証対象技術の概要及び仕様

3.1 実証対象技術の原理及び目的（環境保全・改善効果等）

湖沼等に繁茂する水草は、自然環境において魚類が産卵場所として利用する等、生態系を豊かにする効果がある。その一方、繁茂が過剰になることにより、通水や船舶航行の障害となったり、治水や利水における取水時にスクリーン・除塵機を詰まらせたりすることもある。さらに、景観を悪化させたり、季節によっては一時的に大量腐敗し臭気を発生させたりすることもある。その結果、極度の貧酸素の原因となることもあり、生態系に大きな影響を及ぼすことがある。

そのため、湖沼等における水草は適正量の繁茂が望ましく、ある程度人為的に管理する方法が求められる。繁茂した水草の防除法には、人力による刈取が挙げられるが、効率に劣り、また沿岸部以外の除去が困難という課題がある。また、化学的・生態的防除等の方法もあるが、いずれも範囲内の除去植物を選択できないという課題がある。

実証対象技術は、バリカン状の刈取ナイフにより浮葉性、浮遊性の水草等を切断し、コンベアにより貯蔵・搬出が可能な水草の刈取専用船である（図3-1、3-2）。本技術を利用して水草を効率的かつ大量に排除することで、湖沼等の生態系を健全化させることに利用できる。また、実証対象技術では、オペレーターが目視により除去植物を選別することが可能であり、有用な水草・希少種等を守りながら、異常に繁茂した水草や外来種を選択的に刈取除去することができる。さらには、水草の繁茂が過剰となった水域で見られる溶存酸素量の不足や腐敗等による栄養塩流出の改善にも寄与することができ、水質保全上の管理も可能になると考えられる。

これらのことから、実証対象技術は、自然環境や水環境の保全に有用な技術であるといえる。



図3-1 実証対象製品の模式図



図3-2 実証対象製品の外観

3.2 実証対象技術の構成

(1) 水草刈取システムの構成（実証対象製品の施工の流れ）

実証対象製品による水草除去施工は、以下の流れで実施する（図3-3）。

- ① 機材搬入：トラックで実証対象製品を湖沼等へ輸送し、クレーンを用いて水面へ搬入する。
- ② 水草の除去：実証対象製品により水草の刈取・回収を行う。メッシュ状のコンベアベルトで掻き上げるにより、水と水草を分離して、水草のみを回収する。
- ③ 水草の運搬・揚陸：回収された水草は荷揚場まで運搬船または実証対象製品で運搬する（写真はロープモッコ（網状の運搬道具）を敷いた運搬船への移送作業を示している）。
- ④ 水草の処分場等への運搬：ロープモッコをクレーンで陸揚げし、必要に応じて乾燥させた後に、ダンプトラック等で処分場等まで運搬する（陸上運搬）。

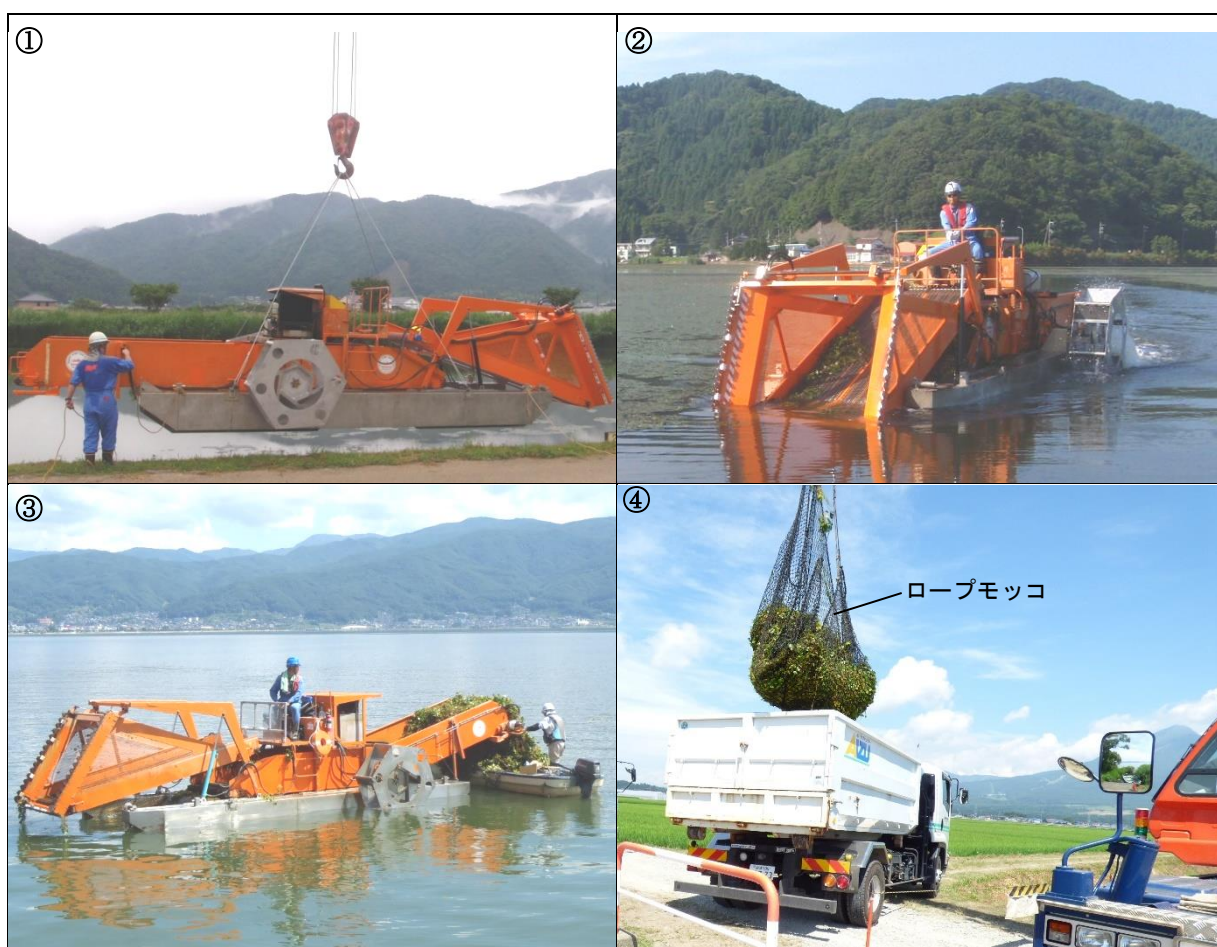


図3-3 実証対象製品の施工の流れ

（2）実証対象製品（機器）の構成と特徴

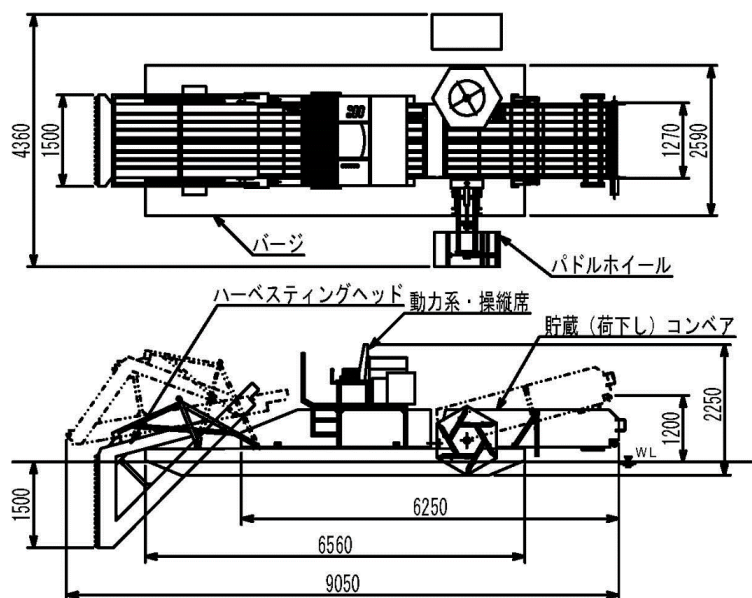
図3-4に示すとおり、実証対象製品は、操縦席、水草の刈取ナイフを備えたハーベスティングヘッド（刈取ヘッド）、エンジン・燃料タンク等の動力系、水草の貯蔵・搬出を行うコンベア、バージ（船のベースとなる浮体）、パドルホイール（外輪）より主に構成される。

操縦席は、船体中央・上部に設置されており、オペレーターが上から刈取範囲の水面及び水草の状況を常時視認可能である。また、コンベアで送られる水草を取り出して、刈取られた水草を詳細に調べることもできることから、選択的な水草の刈取が可能となる。

刈取カッターの停止、正転、逆転が1ハンドルで即座に切り替えでき、また、推進系（パドル等）と独立して操作する機構となっていることから、オペレーターの操作を即座に伝え、対象区域のみの刈取を容易とする。また、刈取ヘッドの深さは（機種による範囲内で）無段階に調整可能であることから、浅瀬に繁茂する水草から、水深の深い沖合に繁茂する水草まで刈取対象とすることができる。さらに、深さ方向で異なる水草が存在している場合には、刈取ヘッドの高さ調整により、選択的な刈取も可能にする。

駆動系ごとに油圧流量の調整が可能であることから、水草の繁茂状況に応じて、航行速度、ナイフの速度を調整できる。

パドルホイール（外輪）による左右独立の推進方式となっている。外輪駆動は低回転数・大型で、かつ回転軸やホイールが水上に露出するため水草が絡み難く、多少絡まっても航行不能となり難い上、絡んだ際にも船上からの水草の除去が容易になる。このことから、スクリューを使用する一般的な船舶では航行できないような、水草が繁茂している水域において航行を可能とする。



※最も広く用いられる機種（WH-1500）のサイズ（長さ）を1例として示している（単位：mm）。

図3-4 実証対象製品（機器）の構成

3.3 実証対象技術の仕様

(1) 仕様

表 3-1 実証対象製品の仕様

サイズ (mm)	全体	全長：9,050／全高：2,250 全幅（輸送時）：2,590／（運転時）4,360
	バージ部	全長：6,560／全幅：2,590
	貯蔵部	全長：6,250／全幅：1,270／積載高：800 荷降高：0～1,200
	ハーベスティング （刈取）ヘッド部	刈取幅：1,500 水平刃：75／垂直刃：75（合計約 50 枚）
	パドルホイール	対辺 1,030（6 角形×600）
重量	3,500 kg	
動力系	エンジン：水冷 4 気筒ディーゼルエンジン 最大出力：31.3 HP、2,800 rpm 作動油タンク容量：80 L 燃料タンク容量：40 L	
推進方法	油圧モーター稼働（油圧転倒格納式独立リバーシブルパドルホイール）	
航行可能水深	50 cm 以上	
刈取水深	最大 1,500 mm	
最大積載容量	6 m ³	
最大積載重量	1,360 kg	
荷降速度	60 秒	

※最も広く用いられる機種（WH-1500）の仕様を示している。水域によって適したサイズ・能力の機種を選択する。

(2) 消耗品、消耗材、消費電力量

表 3-2 主な消費エネルギー及び消耗材

項 目	値
軽油使用量（エンジン）	約 5 L / 時間
作動油※・フィルター、燃料フィルター エンジンオイル・フィルター	一定時間毎に交換※※

※生分解性の潤滑油を使用

※※交換頻度は「3.4 実証対象製品の運転・維持管理に必要な作業項目」を参照

（3）回収物及び廃棄物とその取扱い

回収物及び廃棄物とその取扱いを表3-3に示す。後述する試験実施場所においては、回収した水草は堆肥化され、農業に利用されている。

表3-3 回収物、廃棄物とその取扱い

項 目	取 扱 い
刈り取った水草	回収した水草は、地域の循環・処分システムに従い、堆肥化、バイオマス炭化、焼却処分等を行う（図3-5）。
エンジンオイル・フィルター等の消耗品	自治体の指示に従い、産業廃棄物等として処分する。



図3-5 回収した水草の再利用・処分方法（例）

3.4 実証対象製品の運転・維持管理に必要な作業項目、使用者の技能

推奨している日常的・定期的な管理は、表3-4に示すとおりである。

機械整備や水上機械の作業経験を有している者を使用者（オペレーター）として選定する。また、2級小型船舶操縦士以上の資格を有する必要がある。

表3-4 維持管理項目

項目	担当者	作業項目	頻度
日常点検	使用者	・エンジンオイルの量の点検 ・燃料タンクの軽油量の点検 ・グリスアップポイントの点検とグリスアップ※ ・コンベアベルト点検 ・刈取ナイフの隙間の点検と調整 ・作動油の量の確認 ・船体の損傷確認 ・ボルト、ナット等の緩み確認	毎日
	使用者または技術開発者	・油圧ホースの点検（オイル漏れの確認等） ・バージの点検（水が入っていないことを確認） ・電気系統の表示の確認 ・バッテリー残量の確認 ・エンジンオイル、フィルターの交換 ・エアクリーナーの交換	100 時間に 1 回
定期点検	使用者または技術開発者	・燃料、作業油フィルターの交換 ・ロッドエンドとロッドの緩み確認 ・作動油タンク清掃と作動油、フィルターの交換 ・電気系統（スイッチ、計器）確認 ・塗装の剥がれや損傷を確認（必要に応じて再塗装）	500 時間に 1 回
	使用者または技術開発者	・船体の湖沼等からの回収、保管 ・排水口内の水の溜まり具合の確認 ・船体の清掃 ・パドルホイールのハブ等へのグリス塗布 ・グリスアップポイントへのグリスアップ ・バッテリーの取り外し、保管 ・油圧作動油とフィルターの交換 ・作動油タンクの清掃 ・塗装の確認（必要に応じて再塗装）	冬季前に 1 回

※作動油（潤滑剤）を補給することにより、駆動の部品同士が干渉する部分やジョイント部分等の動きを滑らかに、スムーズにすることができる。

3.5 実証対象製品が必要とする条件の制御、注意事項

(1) 適用可能な水草の種類

実証対象技術に適用可能な水草の種類を図3-6に示す。ヨシ、ナガエツルノゲイトウ等の切断された切れ端（流れ藻）から繁殖するような植物には向いていない。なお、このような植物の場合は、根こそぎ排出可能な別製品（商品名：ハイドロモグ）を使用することを実証申請者は推奨している。

【沈水性の植物】

オオカナダモ	ハゴロモモ	ヒシ	スイレン (ヒツジグサ)
			

【浮葉性の植物】

【浮遊性の植物】

ボタンウキクサ	オオサンショウモ		
			

【条件付きで適用可能な植物】

ハス（抽水性）		ホテイアオイ（浮遊性）	
	上方のみ可。レンコンの排出は別製品（商品名：ハイドロモグ）が向いている。		大きなものは刈払機等との併用が必要

図3-6 実証対象製品が適用可能な水草の種類

（2）安全上の注意事項

- ・荒天時（雷、強風、波浪時等）に作業は行わない。
- ・刈取ナイフやコンベア等による手指等の怪我に注意する。
- ・刈り取った水草等の荷は均等に乗せる（バランス維持による推進力維持、転覆防止）。
- ・その他取扱説明書に記載された安全上の注意事項を遵守する必要がある。

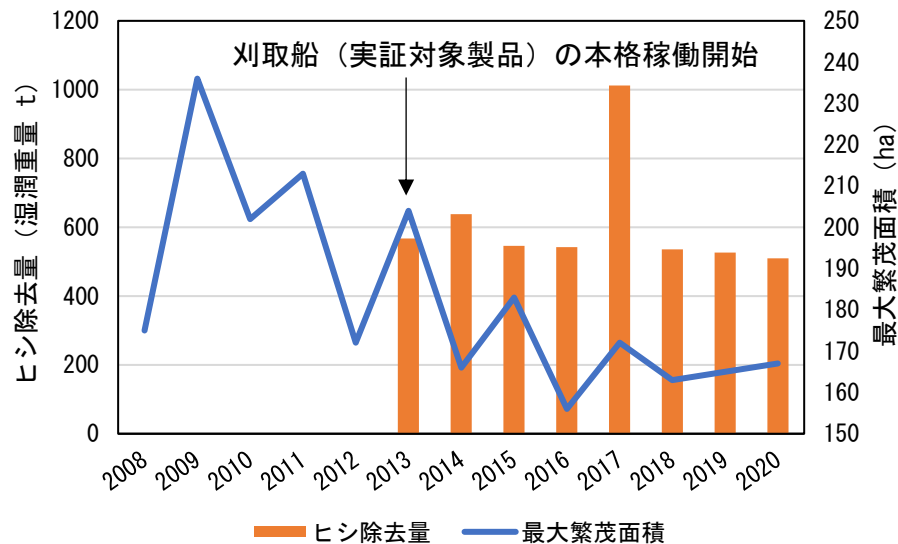
（3）その他注意事項

- ・経験上、風上、風下に向かって刈り取ると効率が良いことがわかっている。横向きの風は実証対象製品を横に流し作業の効率を落とす原因に繋がる。
- ・岸辺に平行に刈取っていくと、水深の調整に関するオペレーターの作業が容易となる。岸辺に向かったり、離れたりしながら刈取っていると、操作レバーで刈取ヘッドを絶えず深さに合わせて調整しなければならなくなる。
- ・水草を一杯に積んだ状態で岸や運搬船等へ移動する際には、刈取ヘッドを水面から持ち上げる（スピードの維持に効果的）。
- ・保護・保全が必要とされる魚類の種がある場合は、産卵時期や繁殖期等を考慮した工期にする必要がある。

4. 既存データ

4.1 既存データ

試験実施場所である諏訪湖においては、2013年度から継続的に実証対象品によるヒシの刈取を実施している。図4-1に示すとおり、調査年度によって変動があるものの、ヒシの繁茂面積は減少傾向にあることがわかる。



※ヒシの除去量は主に刈取船によって刈り取られた量であるが、手作業による刈取量も若干含まれている。

※繁茂面積は、GPS を用いたヒシの外縁位置の測定結果に基づいて算出されている。

図4-1 諏訪湖におけるヒシ除去量と繁茂面積の推移
(文献1、2の情報を基に実証機関が作成)

(参考文献)

1. 令和3年度 諏訪湖 ヒシ除去作業について (2021) 諏訪市環境課
2. 諏訪湖におけるヒシおよび水生植物の分布調査 (2021) 水産試験場諏訪支場

4.2 既存データの活用

上記の既存データは、実証対象技術導入の長期的な影響を見る上で貴重なデータであるため、実証の参考情報として活用することとした。

5. 実証（試験）方法

実証対象技術は、バリカン状の刈取ナイフにより水草を切断し、コンベアにより貯蔵・搬出が可能な水草の刈取専用船である。

試験では、各種の障害を引き起こす水草の大量繁茂が問題となっている国内の湖沼を対象として、ドローンによる空撮及び画像解析によって、実証対象製品による水草の刈取面積を計測することで、実証対象製品の水草の刈取能力を調査した。また、刈り取られた水草の重量を測定することで、実証対象製品による水草の刈取能力を評価した。さらに、溶存酸素量を測定することで、刈取による溶存酸素量の改善効果を確認した。本試験においては、水面から約 70～80 cm までの高さの水草の刈取を行った。

5.1 実証の全日程

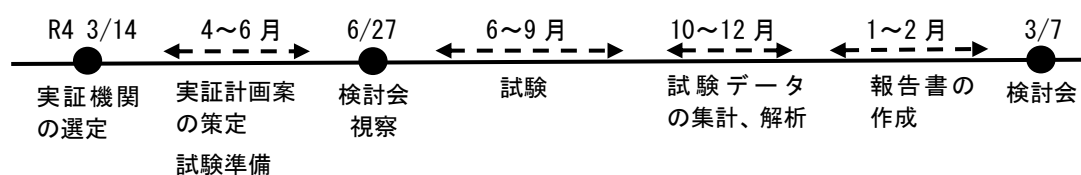


図 5-1 実証の全日程

5.2 試験実施場所の情報

表 5-1 試験実施場所の情報

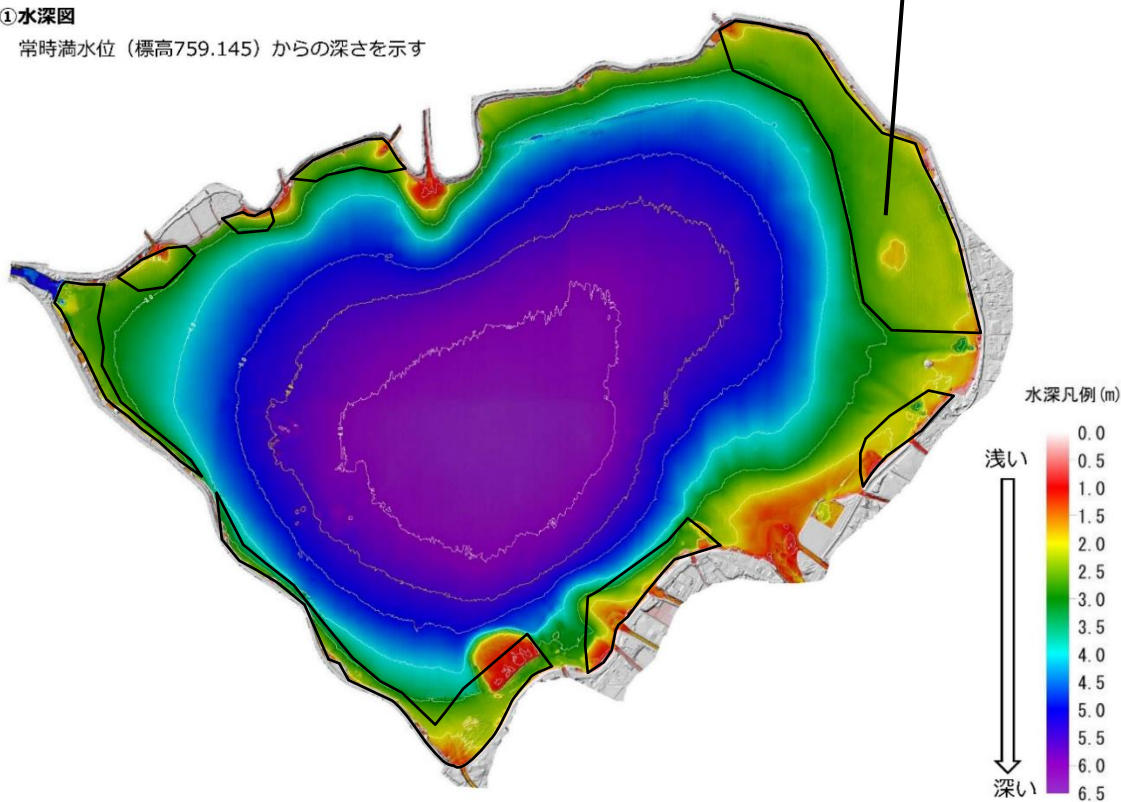
名称	諏訪湖
所在地	長野県岡谷市、諏訪市、諏訪郡下諏訪町
管理者	長野県（諏訪建設事務所）
面積	13.3 km ²
湖周	15.9 km
水深	最大約 6.5 m（図 5-2）
概要	諏訪盆地内に広がる長野県内最大の自然湖であり、観光や漁業等に利用されている。湖沼水質保全特別措置法における指定湖沼ともなっている。
水草の繁茂状況と刈取対象	大量繁茂して問題となる主な水草は、浮葉植物のヒシ（学名： <i>Trapa japonica</i> ）である。夏季において湖岸に広範囲に繁茂する傾向にあり（図 5-2）、景観悪化、船舶の航行の妨げ、底層等の溶存酸素の低下等が問題となっている。ヒシの群生地帯に他の種が混在することは稀である。 本試験における刈取対象はヒシとした。ヒシは在来種であるが、海外では外来種として駆除対象となることもある。
水草の刈取活動	2013 年度から実証対象製品を活用したヒシの刈取事業が継続的に実施されている。（それ以前にも手作業による小規模な刈取活動は実施されていた。）2022 年度も本刈取事業を実施され、本刈取事業の一部の期間において、試験に必要なデータを取得した。

ヒシ繁茂の様子
(2022年7月25日撮影)



①水深図

常時満水位（標高759.145）からの深さを示す



☐ 水草が繁茂しやすいエリア

※『第2回諏訪湖創生ビジョン推進会議 資料4「諏訪湖の湖底測量」(2019)』掲載の図を実証機関が編集して作図

図5-2 諏訪湖の水深と水草が繁茂しやすいエリア

5.3 監視項目

表5-2 監視項目と内容

監視項目	内容
気象条件	試験期間中の地域気象観測所（観測所名：諏訪）の観測データを監視した。

5.4 実証項目、実証する性能及び参考項目

実証項目及び実証する性能、参考項目は、表5-3、5-4に示すとおりとした。実証項目である刈取面積は、ドローン空撮及び画像解析によって計測した。また、1日あたりの刈取面積の計算は以下の式に従った。

$$\begin{aligned} & \text{(1日あたりの刈取面積)} \\ & = \{ \text{(刈取対象エリアの刈取開始前の水草繁茂面積 } m^2) \\ & \quad - \text{(刈取対象エリアの刈取終了時の水草繁茂面積 } m^2) \} \\ & \quad / \text{(刈取対象エリアの水草刈取日数)} \end{aligned}$$

表5-3 実証項目及び実証する性能

実証項目	実証する性能
刈取面積	試験期間中の平均で 1,500 m ² /日以上（1日8時間稼働時）

表5-4 参考項目

調査項目	概要
再繁茂面積	刈取後に再繁茂した水草の面積を計測した。
刈取重量	刈り取った水草を車両で運搬する時※と乾燥後の重量**を測定した。
水草の水分	乾燥後の水草試料をサンプリング法によって一部採取し、水分を測定した。測定された水分（含水率）は、刈取した水草の乾重量の算出に利用した。
水草の種類	船上から目視で確認するとともに、刈り取られた水草についても陸上で確認を行った。
溶存酸素量	水草の刈取による溶存酸素量の改善効果を確認するために測定した。
クロロフィル a	溶存酸素量の変化の参考とするため、また水草を刈り取った後に発生する可能性がある植物プランクトンの指標として測定した。
栄養塩類	植物プランクトンの発生ポテンシャルの指標として、溶存態の硝酸性窒素、リン酸態リンを測定した。
濁度	水草の刈取による湖水や底泥の流動状態の変化の指標として測定した。

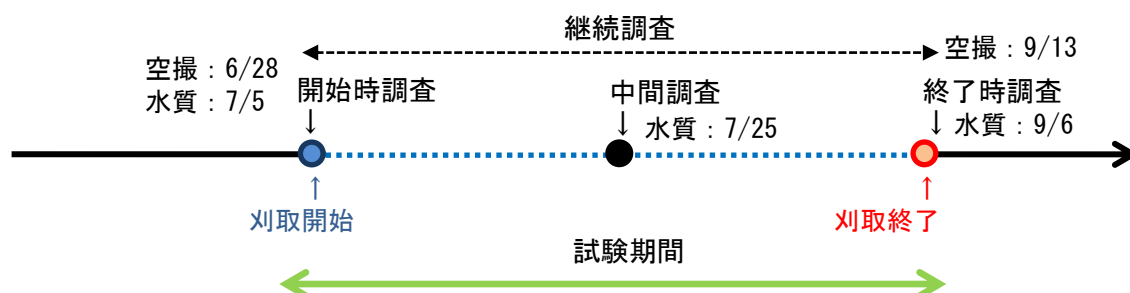
※水分を多く含んだ状態での測定である。

**地域の堆肥化工場に搬出可能な状態まで乾燥させた後に湿重量を測定した。水草の乾燥は鉄板上で天日乾燥によって実施した。天候にもよるが、乾燥日数は2～3日程度であった。

5.5 実証方法

(1) 調査スケジュール

図5-2に示すスケジュールで試験・調査を行った。



※刈取は、月～土の6～15時まで実施した(途中、1時間の休憩あり)。試験対象エリア以外の刈取を実施することもあるため、刈取作業日毎の刈取エリアを記録した。

図5-3 試験のスケジュール

(2) 各調査の内容

各調査の内容を表5-5に示す。

表5-5 各調査の内容

調査名	調査内容	調査・サンプリングのタイミング
開始時調査	繁茂面積（ドローン空撮）	刈取開始前※
	溶存酸素量、クロロフィル a	刈取初日の 11 時半頃※※
中間調査	溶存酸素量	調査日の 6 時、11 時半頃※※
	クロロフィル a	調査日の 11 時半頃※※
	騒音、水草の水分、切れ端（流れ藻）	調査日の日中
終了時調査	繁茂面積（ドローン空撮）	刈取終了後※
	溶存酸素量、クロロフィル a	刈取終了時期の 11 時半頃※※
	水草の水分	刈取終了時期の日中
継続調査 ※※※	気象条件、刈取重量、水草の種類 試験エリアの刈取日数・時刻 軽油使用量	継続的に調査

※刈取開始日以前の1週間程度、刈取終了日以降の2週間程度の期間の中で、風が弱い日に調査を実施した。

※※水草繁茂エリアを航行可能な実証対象製品を利用した調査を行う必要があり、また刈取日以外で実証対象製品を航行させることができないため、刈取作業の休憩時間中（11時～12時頃）に調査を行った。中間調査時に一度だけ早朝の調査を実施した。

※※※気象条件以外の項目については、実証申請者が確認・記録を行った。開始時・中間・終了時調査の際には、実証機関も確認を行った。

(3) 試験対象エリア、測定・試料採取地点

図5-4に試験対象エリア、測定・試料採取地点を示す。



備考①：国土地理院地図を基に実証機関が編集

備考②：試験対象エリア以外にも水草が繁茂しているエリアは存在していた。

備考③：中間調査時には、水草が存在していない地点と存在している地点で測定を行い、溶存酸素量等を比較した。

図5-4 試験対象エリア

(4) ドローンを用いた水草繁茂面積の測定方法

①調査工程

表5-6 調査工程

日程	作業内容
撮影前日	踏査・標定点の測量
撮影当日	ドローンによる空撮

②ドローンによる空撮の方法

試験対象エリアにおいて、水草（ヒシ）の繁茂範囲が網羅できるよう飛行計画を作成し、ドローンによる空撮を行った。撮影条件は、対地高度約 150 m、オーバーラップ 90%、サイドラップ 60%とし、撮影コースは全 4 コースとした。なお、計画上の地上画素寸法は概ね 4 cm/画素であった。

オルソ画像の位置精度を確保するため、湖畔において標定点の測量を実施した。標定点は概ね 100 m 間隔で設定し、GNSS 測量器を用いた VRS-RTK 方式により測量した。GNSS 測量器は公共基準点において精度確認を実施した。

使用機器を表 5-7～5-8 に、調査状況を図 5-5 に、飛行コースおよび撮影諸元を図 5-6 に、標定点配置を図 5-7 にそれぞれ示す。

表 5-7 使用機器（ドローン）

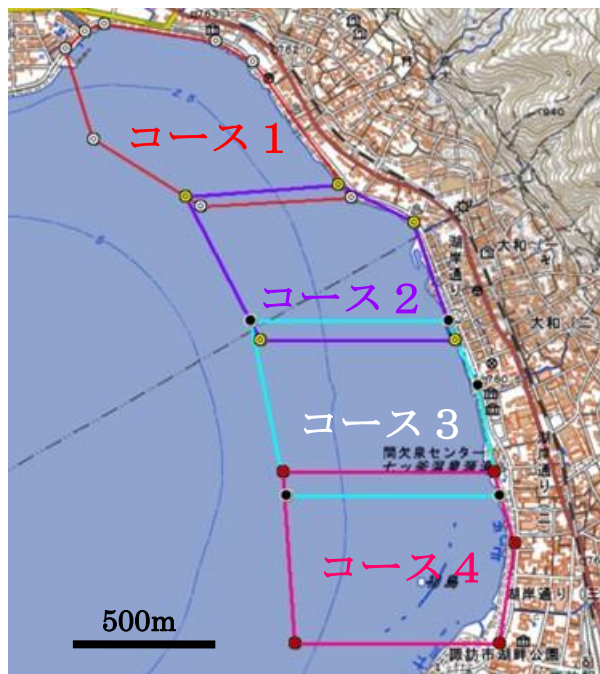
機種名	Phantom4 PRO（DJI 社）
測位受信信号	GPS/GLONASS
センサー	1 インチ CMOS、有効画素数：2,000 万画素
レンズ	視野角：84°、8.8mm/24mm (35mm 判換算)
静止画サイズ	5,472×3,648px
外観	

表 5-8 使用機器（GNSS 測量器）

機種名	DELTA3（JAVAD 社）
測位受信信号	GPS/L1,L2,L2C,L5 Galileo/E1,E5 GLONASS/L1,L2 SBAS,QZSS
測位精度	RTK（水平）1.0cm + 1.0ppm × 基線長 RTK（鉛直）1.5cm + 1.5ppm × 基線長
外観	

	GNSS 精度確認 2 級基準点 1006A-1
	標定点の測量
	ドローンによる空撮

図 5-5 ドローンによる調査の状況



【撮影諸元】

項目	設定値
撮影高度	150 m
オーバーラップ	90%
サイドラップ	60%
地上解像度	4.1 cm/画素

図5-6 飛行コースおよび撮影諸元

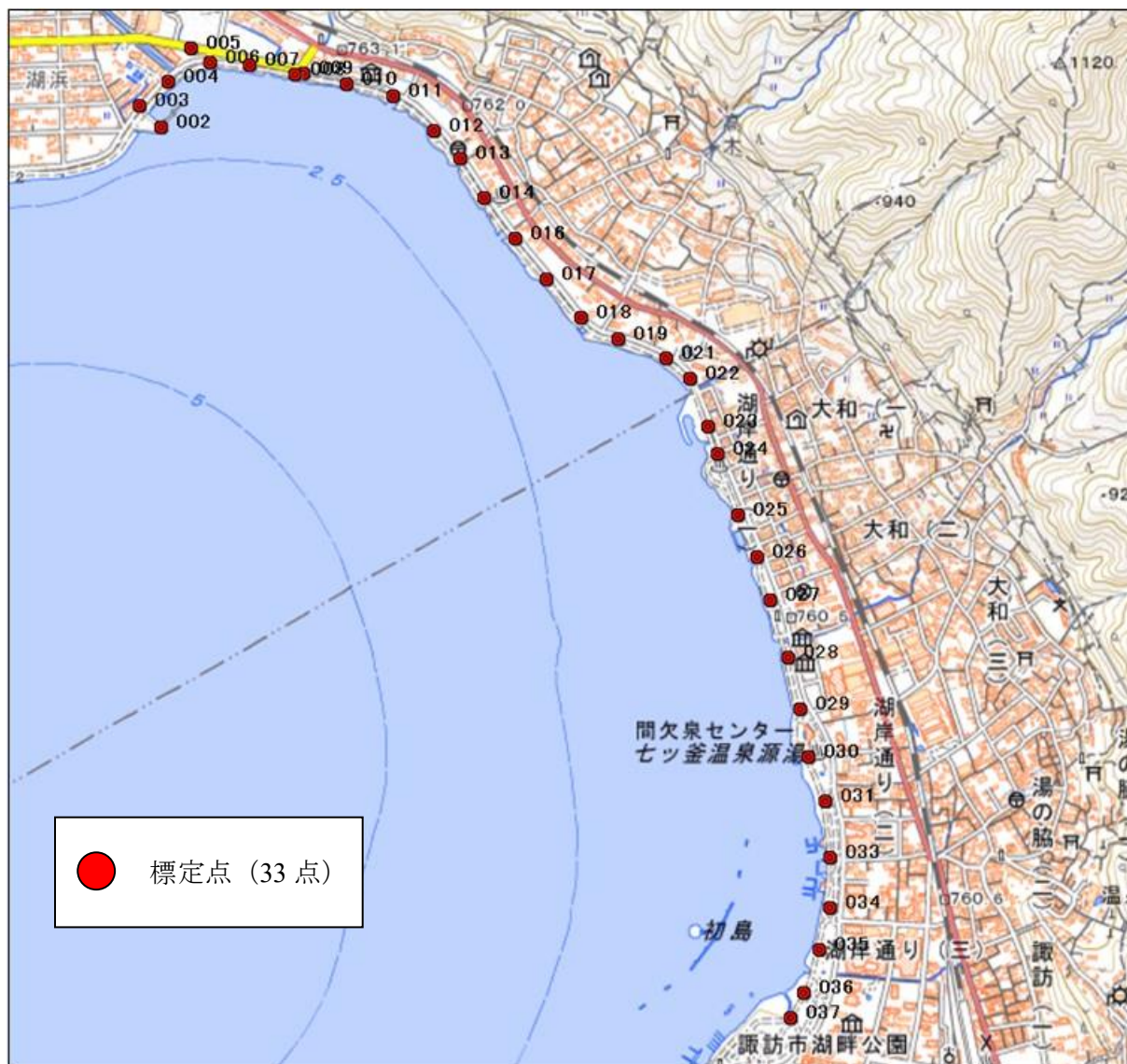


図5-7 標定点配置

③繁茂面積の把握方法

ドローンにより撮影した画像は、SfM ソフト（Metashape : AGISOFT 社）を用いてオルソ画像化し、位置情報をメタデータとして付与した GeoTIFF 形式により画像出力した。これを GIS ソフト（QGIS）に取り込み、画像で確認できる2回の水草繁茂状況の差と刈取作業からの聞き取りにより、水草の刈取範囲を抽出した。これらの刈取範囲は、GIS ソフトの面積計算機能を用いて水草の刈取面積を算出した。

なお、刈取範囲内で、刈取前に水草の繁茂がみられない範囲は、除外範囲として刈取面積より減じた。また、調査範囲南側の刈取範囲内では、水草の再繁茂がみられたため、画像処理ソフト（Photoshop : ADOBE 社）を用いて水草を抽出し、抽出画素数を計数することにより、再繁茂の面積割合を算出した。再繁茂範囲の抽出イメージを図5-8に示す。

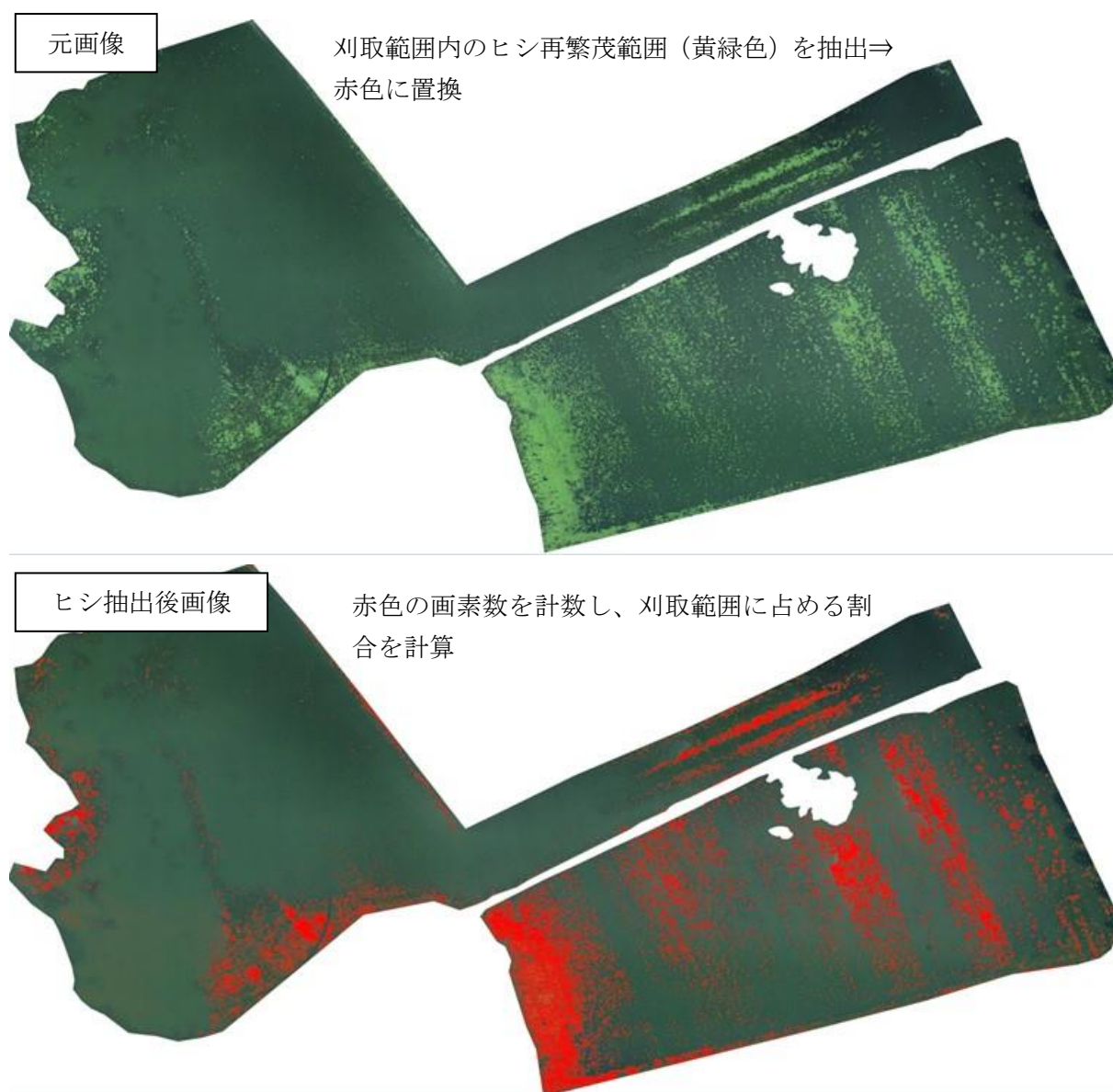


図5-8 刈取範囲における再繁茂範囲の抽出イメージ

(5) 水試料の測定・採取方法

溶存酸素量は、溶存酸素計を用いて、上層（水面より約 5 cm）、中層（水深の約半分の深さ）、底層（底面から約 50 cm）で測定した。

クロロフィル a 等分析用の水試料の採取方法は、**図 5-9** に示す採水器を使用し、水面から水深約 80% の部分を採水した。調査地点の周囲 2 m の範囲の 3 カ所から採水し、混合試料とした。採水容器はポリ容器とした。

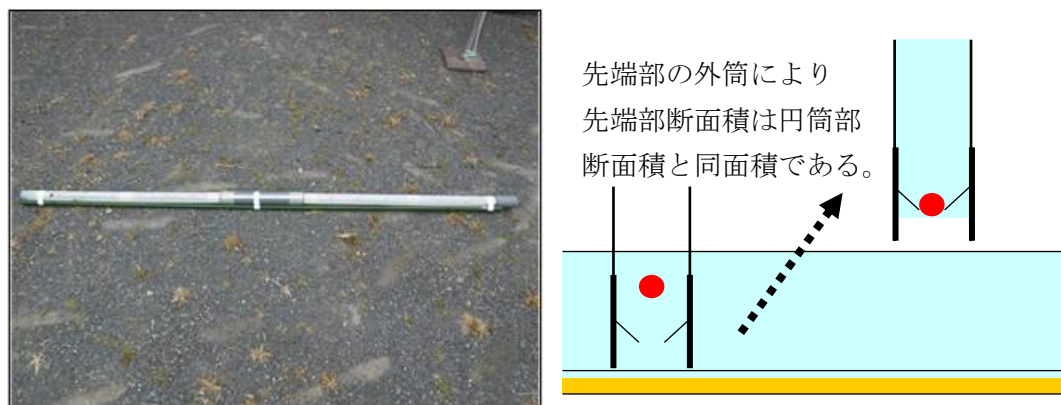
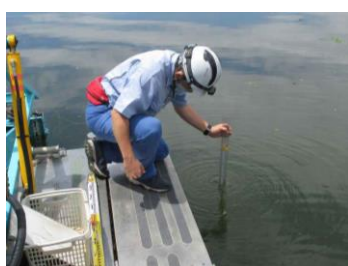


図 5-9 改良型ポリエチレン製円筒形採水器



円筒形採水器による
採水



溶存酸素測定
（周囲に水草が無い地点）



溶存酸素測定
（周囲に水草がある地点）

図 5-10 水試料の採取、溶存酸素測定等の様子

(6) 分析方法

分析方法を**表 5-9**に示す。

表 5-9 分析方法

分析項目	分 析 方 法
溶存酸素	JIS K 0102 32.3（隔膜電極法）
クロロフィル-a	アセトン抽出による吸光光度法
硝酸性窒素	JIS K 0102 43.2.5 イオンクロマトグラフ法
リン酸態リン	JIS K 0102 46.1.1 モリブデン青吸光光度法
濁度	JIS K 0101 9.4 積分球濁度計による測定
水分（水草）	常圧加熱乾燥法

（7）操作及び維持管理

試験においては、取扱説明書に従い、実証申請者（技術開発者）が実証対象製品の操作及び維持管理を実施した。

5.6 環境影響、運転及び維持管理項目

表5-10 環境影響、運転及び維持管理項目

分類	項目	内容・測定方法等
環境影響項目	水草の切れ端（流れ藻）の発生	中間調査時に、実証対象製品によって刈り取られるものの、回収されずに湖に流出する切れ端（流れ藻）の発生状況を目視で確認した。
	軽油使用量	試験期間中に実証対象製品が消費する軽油量を計測した。
	騒音	中間調査時に船上及び湖岸において騒音の測定を1回行った。
運転及び維持管理項目	実証対象製品が稼働可能な天候	実証対象製品が稼働した時刻と気象情報を比較することで、実証対象製品が稼働可能な天候に関する情報を整理した。
	実証対象製品の運転及び維持管理に必要な人員数と技能	作業項目毎の最大人数と作業時間（人・日）、管理の専門性や困難さを記録した。
	実証対象製品の信頼性	異常発生時の原因を調査した。
	トラブルからの復帰方法	異常発生後の復帰操作の容易さ、課題を評価した。
	運転及び維持管理マニュアルの評価	運転及び維持管理マニュアルの読みやすさ、理解しやすさ、課題を評価した。



軽油使用量の計測



騒音測定（船上）



騒音測定（湖岸）

図5-11 環境影響項目測定の様子

6. 試験結果及び考察

6.1 監視項目（気象条件）

図6-1に試験実施場所の気象条件を示す（詳細は資料編参照）。試験実施期間中の各日の平均気温は20～28℃の範囲で推移した。試験期間が夏季であったため、降雨が度々確認された。3回の水質調査日のうち、初回（7/5、開始時調査）については、前々日、前日、当日に降雨が認められたため、水質への影響が懸念されたが、後述のとおり、濁度は低く保たれていたことから、大きな影響はなかったと推測される。初回は日照時間が少なかったため、光合成はしばらく条件であったと考えられる。

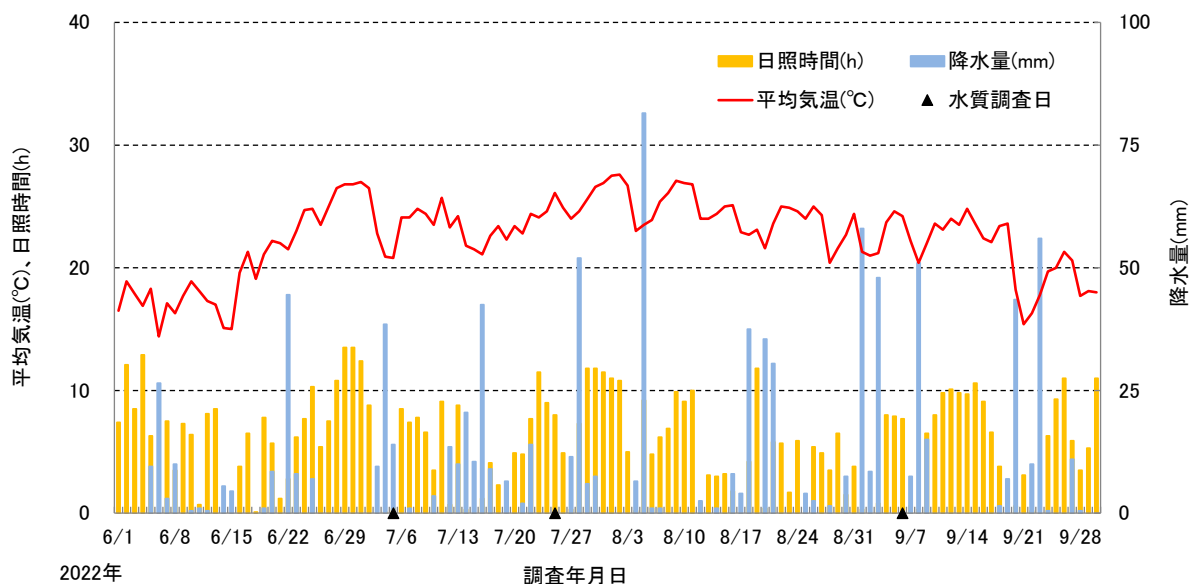


図6-1 試験実施場所近傍の気象条件（諏訪観測所）

6.2 実証項目

6.2.1 ドローンによる空撮

ドローンによる空撮の実績を表6-1に、標定点のRMS誤差を表6-2に、空撮画像を図6-2、6-3に示す。

ドローンによる空撮は、水草刈取前の第1回目（開始時調査）を6月28日、ヒシ刈取後の第2回目（終了時調査）を9月13日に実施した。画像処理に供した写真枚数は、第1回目が1,337枚、第2回目が1,323枚であった。

標定点全体のRMS誤差は、開始時調査が33.8cm、終了時調査が10.7cmであり、精度良く撮影することができた。

表6-1 ドローンによる空撮の実績

調査日	撮影 コース	撮影開始 時 刻	撮影終了 時 刻	撮影写真 枚 数
6月28日 (開始時調査)	1	7:00	～ 7:20	1,337 枚
	2	7:50	～ 8:10	
	3	8:25	～ 8:45	
	4	8:50	～ 9:10	
9月13日 (終了時調査)	1	7:15	～ 7:40	1,323 枚
	2	8:10	～ 8:30	
	3	8:40	～ 9:00	
	4	9:05	～ 9:20	

表6-2 標定点のRMS誤差

調査日	X 誤差 (cm)	Y 誤差 (cm)	Z 誤差 (cm)	XY 誤差 (cm)	合計 (cm)
6月28日	15.9	14.0	26.4	21.2	33.8
9月13日	7.2	5.4	5.8	9.0	10.7

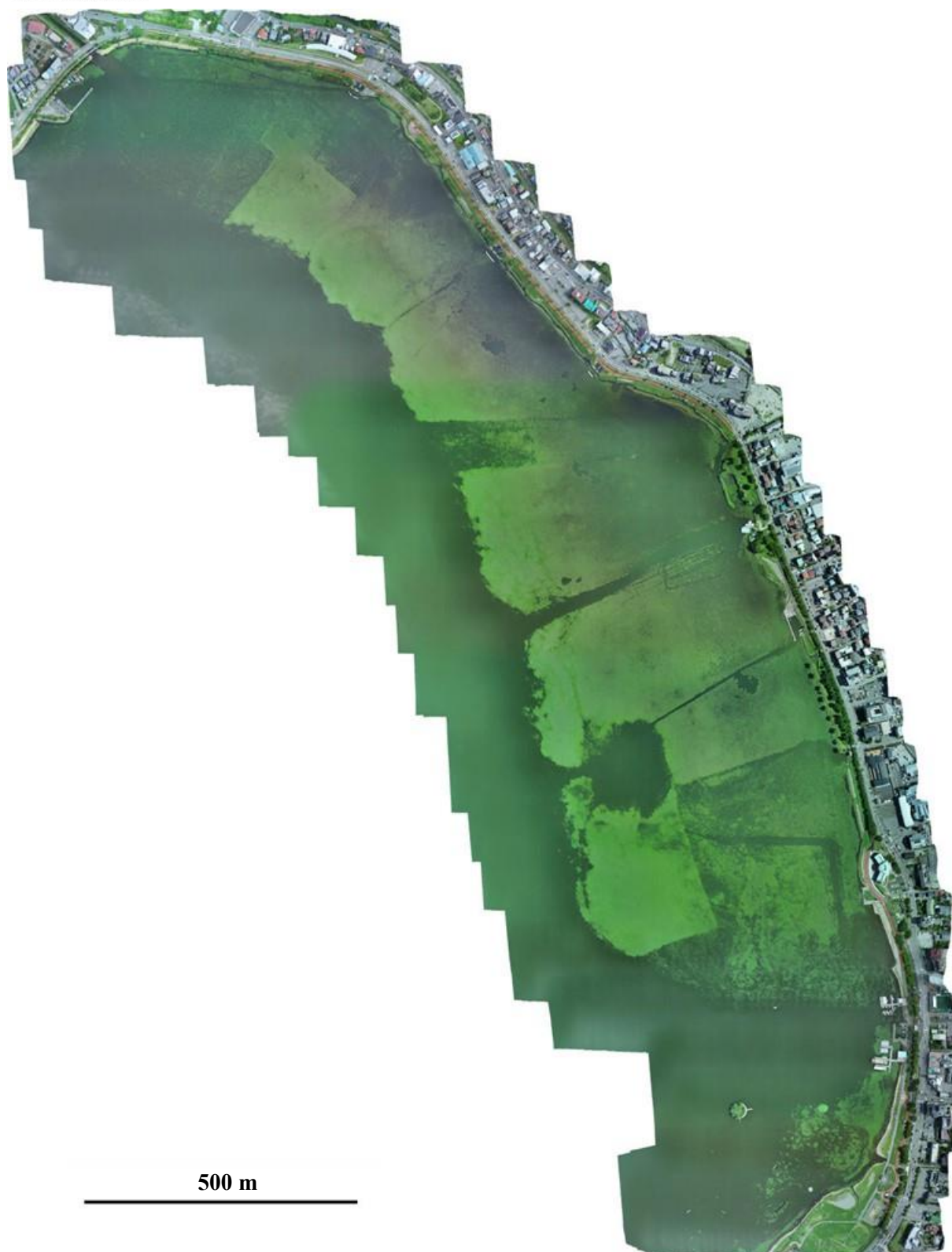


図6-2 開始時調査時の空撮画像（6/28 刈取開始前）



図6-3 終了時調査時の空撮画像（9/13 刈取終了後）

6.2.2 刈取面積

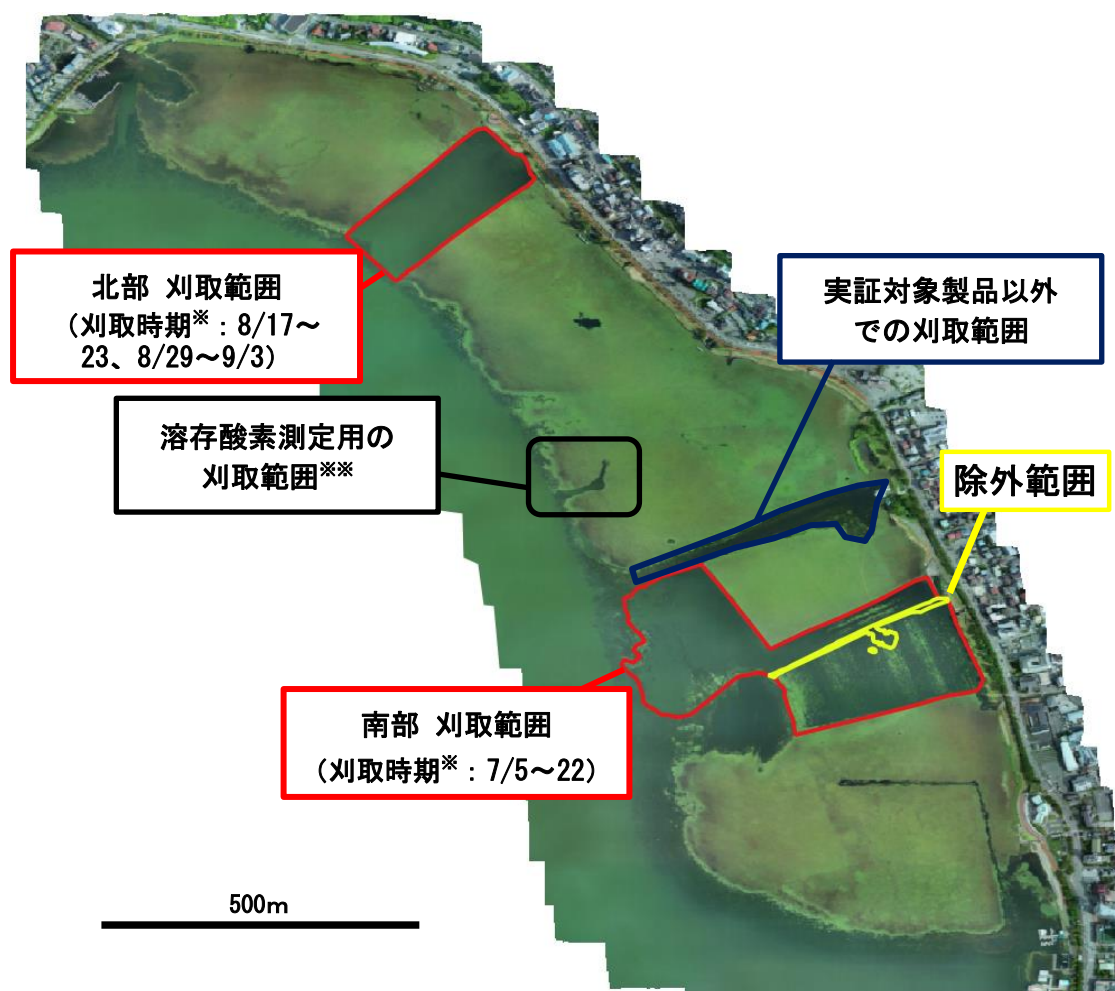
水草の刈取面積を表6-3に、刈取範囲及び刈取時期を図6-4～6-6に示す。

ドローン空撮及び画像解析結果に基づき、ヒシ繁茂範囲のうち、南部と北部の2箇所において刈取面積を算出した。南部においては、刈取範囲のうち、開始時調査において水草の分布が見られなかった範囲を除外範囲として設定し、刈取面積から減じた。

刈取1日あたりの試験期間中の平均刈取面積は5,100 m²/日であり、実証する性能を満たしていた。北部は南部に比べ、1日あたりの刈取面積が小さかった。これは主に水草の密度の違いによるものであると考えられる。後述のとおり、北部は夏季の後半の時期に刈り取られたため、夏季の前半の時期に刈り取られた南部よりも、水草の密度が高かった。

表6-3 実証対象製品による水草の刈取面積

区域	刈取面積 (m ²)	刈取日数 (日)	1日あたりの刈取面積 (m ² /日)	実証する性能 (m ² /日)
南部	104,100	16	6,510	—
北部	38,800	12	3,230	—
合計	142,900	28	5,100	1,500 以上



※日曜日は休工日のため、刈取を行っていない。

※※南部、北部の刈取範囲と同様の方法で実証対象製品による刈取を行った。

図6-4 刈取範囲（調査範囲全体、撮影日：9/13）



図6-5 刈取範囲（南部）

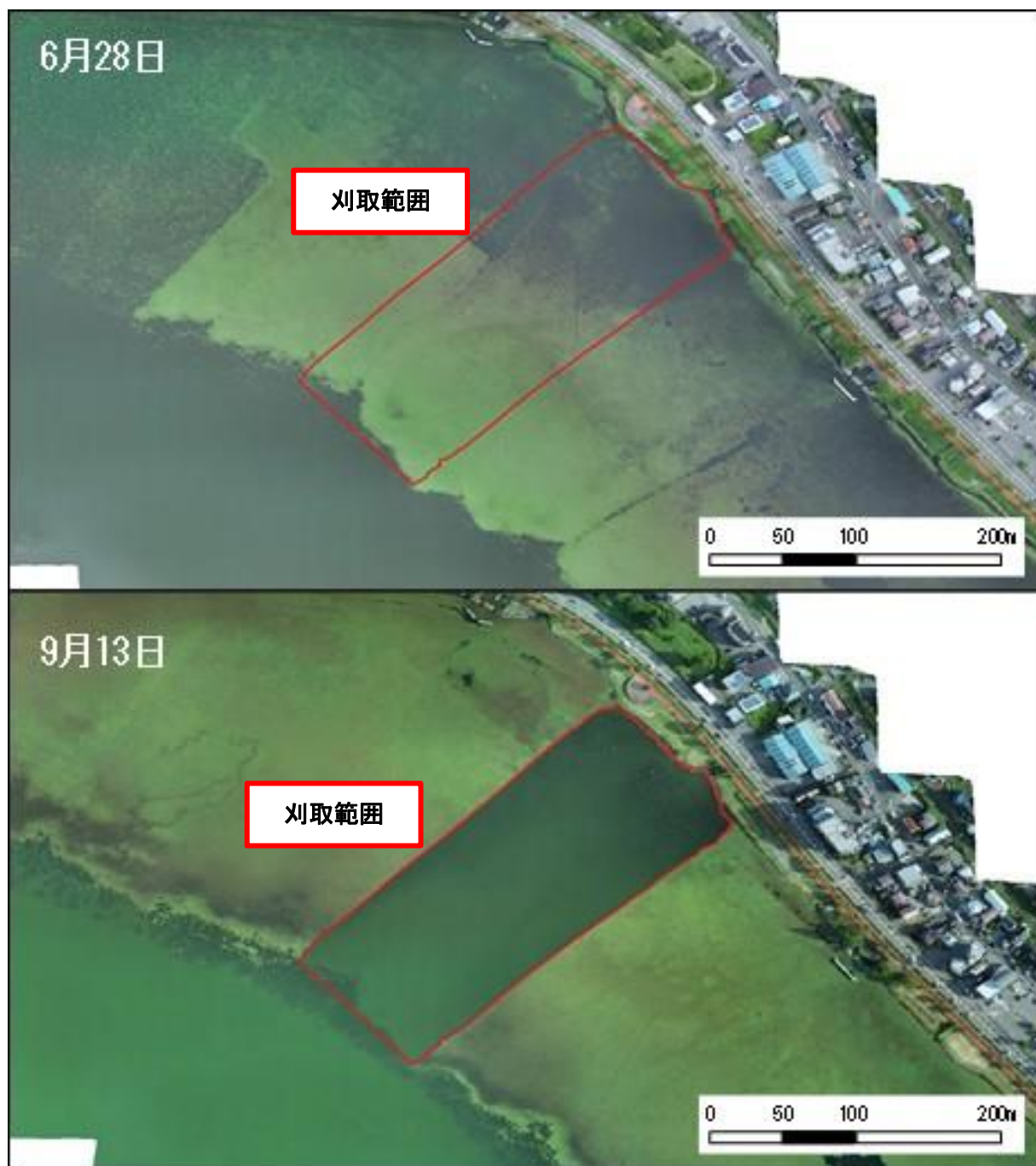


図6-6 刈取範囲（北部）

6.3 参考項目

6.3.1 再繁茂面積、刈取重量、含水率、水草の種類

南部の刈取エリアでは、刈取から約2ヶ月経過した時点で、面積割合で約11%の範囲で水草の再繁茂が見られた。再繁茂面積は11,400 m²であった。

表6-4に刈取重量を示す。試験対象エリアにおいて刈り取られた水草の重量（水分を含む）は、合計336,940 kgであった。試験対象エリア外も含めた実証対象製品による刈取重量の合計は604,290 kgであった。鉄板上での乾燥後の合計の重量は319,020 kgであり、鉄板上での天日乾燥によって、重量が約47%少なくなった。鉄板上での天日乾燥後の水草試料の含水率は、64.2±12.0%（平均±標準偏差、n=4）であった。この含水率を利用して計算で求めた乾燥重量の合計値は114,210 kgであった。刈取日数は合計で48日であったため、実証対象製品によって、1日あたり2,380 kgの乾燥重量の水草を刈り取ることができたと考えられる。

表6-5に刈取重量、刈取面積から算出した水草の密度を示す。夏季の後半に刈取った北部においては、前半に刈取った南部よりも2倍以上密度が高かった。

試験対象エリアにおいては、開始時調査時や中間調査時にはヒシのみ確認された。終了時調査においては、ヒシ繁茂帯の外側（沿）やヒシを刈り取った場所等、日光が水中に届きやすいエリアにおいては、クロモが確認された場所もあった。

表6-4 試験実施場所における実証対象製品による水草の刈取重量

水草の状態	刈取重量 (kg)				合計 刈取日数 (日)	刈取重量 (kg/日)
	試験対象 エリア		試験対象 エリア外	合計		
	南部	北部				
車両運搬時	172,040	164,900	267,350	604,290	48	12,590
鉄板上で天日乾燥後*	—	—	—	319,020		6,650
乾燥重量 (計算値)**	—	—	—	114,210		2,380

*鉄板上での乾燥時に、試験対象エリアと試験対象エリア外で刈り取った水草が混ざるため、両エリアにおける鉄板上での乾燥後の刈取重量を分離することができなかった。このため、両エリアの合計の重量のみを示した。

**含水率64.2%の値より、計算で求めた。

表6-5 刈取範囲における水草の密度

刈取範囲	刈取重量（車両運搬時）(kg)	刈取面積（m ² ）	密度（kg/m ² ）
南部	172,040	104,100	1.65
北部	164,900	38,800	4.25



図6-7 鉄板上での天日乾燥後の水草の外観

6.3.2 水質

(1) 水質調査地点の水草繁茂状況

表6-6、図6-8に水質調査地点の水草繁茂状況を示す。

表6-6 水質調査地点の水草繁茂状況

	試験区 No.1	対照区	試験区 No.2
開始時調査	繁茂	なし	繁茂
中間調査	ほとんどなし	なし	繁茂
終了時調査	周囲に少し繁茂*	なし	周囲に繁茂**

*測定地点の周囲に、刈取後に再繁茂した水草が若干確認された。

**測定地点の周囲約 3m のみ水草がない状態で、それ以外は繁茂している状態であった。

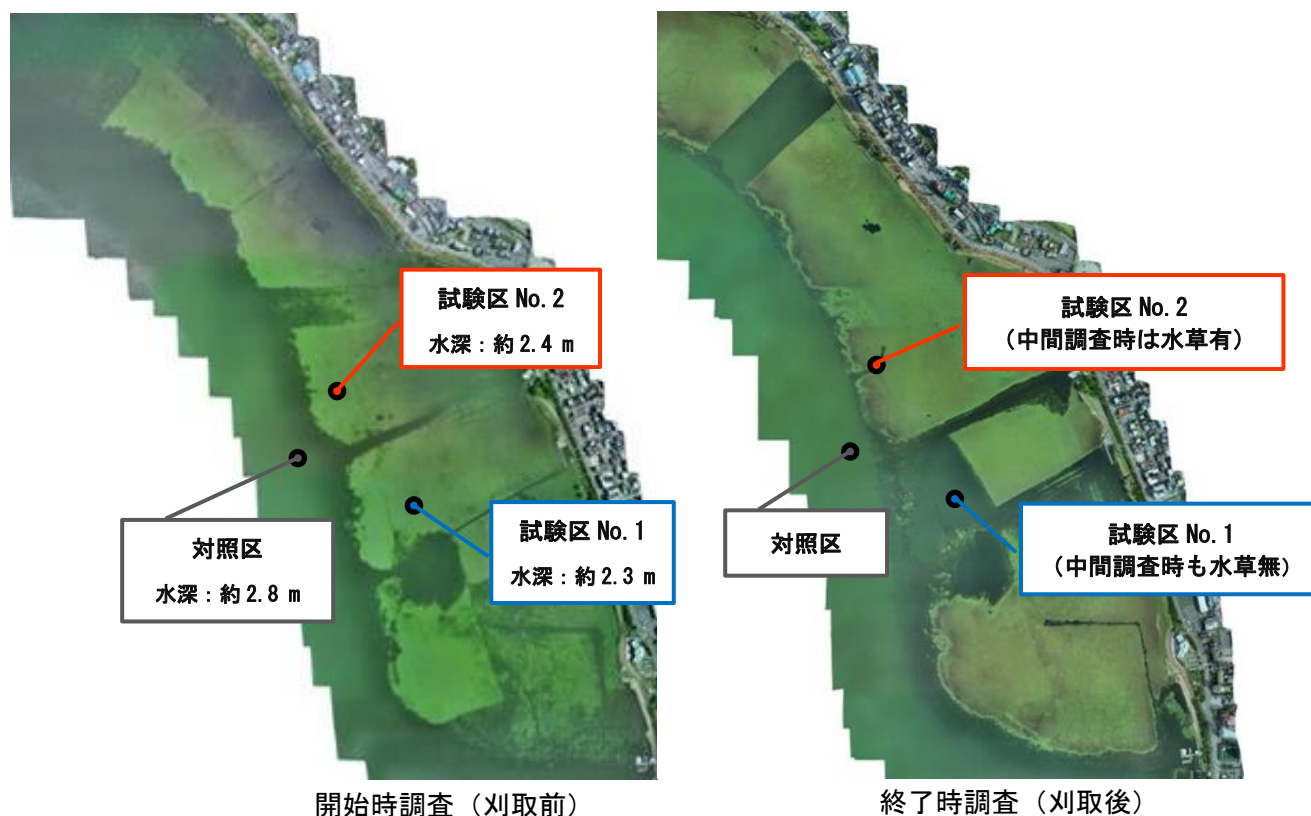


図6-8 水質調査地点の詳細

（2）溶存酸素量

図6-9に開始時調査における溶存酸素量の測定結果を示す。水草が繁茂していなかった対照区においては、表層・中層・底層ともに溶存酸素量は8mg/L以上と高い値であった。一方、水草が繁茂していた試験区においては、溶存酸素量は全体的に低くなり、特に底層に行くほど低い傾向にあった。これは、過剰に繁茂した水草によって日光が遮られ、中層～底層にかけては光合成が起こらずに酸素が消費されたことに加え、水の流動も抑制され、表層の酸素が底層まで届きづらい状況であったためと考えられる。

諏訪湖の溶存酸素の環境基準は表6-7に示すとおり、7.5mg/L以上に設定されているが、水草が繁茂しているエリアでは、環境基準を満たしていなかった。水草の繁茂は景観等に加え、溶存酸素の観点でも、利用目的に制限を加えると考えられた。

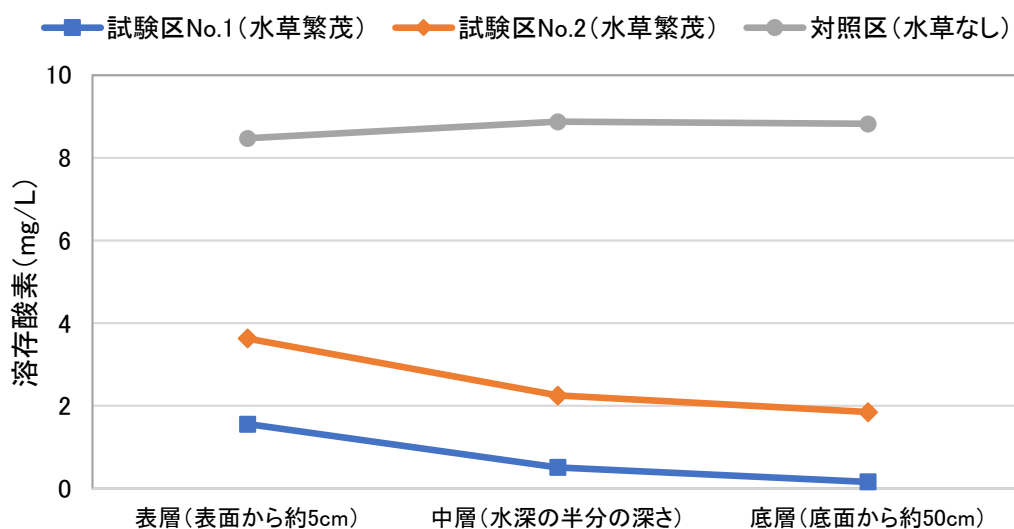


図6-9 開始時調査における溶存酸素の測定結果（7/5 11:30 頃、曇時々雨）

表6-7 湖沼における溶存酸素量の環境基準

類型	利用目的の適応性	基準値
AA	水道1級 水産1級 自然環境保全 及びA以下の欄に掲げるもの	7.5 mg/L 以上
A※	水道2、3級 水産2級 水浴 及びB以下の欄に掲げるもの	7.5 mg/L 以上
B	水産3級 工業用水1級 農業用水 及びCの欄に掲げるもの	5 mg/L 以上
C	工業用水2級 環境保全	2 mg/L 以上

※諏訪湖の類型指定：A

底層の溶存酸素量は水草の繁茂していた地点では 2 mg/L 以下であった。表 6-8 に示すとおり、貧酸素耐性の高い水生生物であっても、生息・再生産するためには、底層の溶存酸素量は 2 mg/L 以上必要であると一般的に考えられていることから、水草の過剰な繁茂は水生生物の生息環境に著しい悪影響を及ぼすと考えられた。

表 6-8 湖沼における底層溶存酸素量の環境基準

類型	水生生物が生息・再生産する場の適応性	基準値
生物 1	生息段階において貧酸素耐性の低い水生生物が生息できる場を保全・再生する水域又は再生産段階において貧酸素耐性の低い水生生物が再生産できる場を保全・再生する水域	4.0 mg/L 以上
生物 2	生息段階において貧酸素耐性の低い水生生物を除き、水生生物が生息できる場を保全・再生する水域又は再生産段階において貧酸素耐性の低い水生生物を除き、水生生物が再生産できる場を保全・再生する水域	3.0 mg/L 以上
生物 3	生息段階において貧酸素耐性の高い水生生物が生息できる場を保全・再生する水域、再生産段階において貧酸素耐性の高い水生生物が再生産できる場を保全・再生する水域又は無生物域を解消する水域	2.0 mg/L 以上

図 6-10、6-11 に中間調査における溶存酸素量の測定結果を示す。水草を刈り取った試験区 No.1 においては、開始時調査と比べ、溶存酸素量が大きく増大していた。これは、刈取によって日光が水中に届くようになったために光合成が起こり易くなったこと、また湖水が流動し易くなったために表層の酸素が底層まで届き易くなったためであると考えられた。一方、刈取を行わなかった試験区 No.2 においては、開始時調査と同様に底層では溶存酸素量が 2 mg/L 以下の貧酸素状態であった。早朝（6:30 頃）と比べ昼頃（11:30 頃）では、光合成の影響で表層の溶存酸素量が高まる傾向にあった。

図 6-12 に終了時調査における溶存酸素量の測定結果を示す。中間調査～終了時調査の期間に測定地点の周囲約 3m の刈取を行った試験区 No.2 の測定地点においては、溶存酸素量は、対照区と比べると低い値であったが、刈取前と比べると大きく上昇した。大規模な刈取を行わなくても、局所的には溶存酸素量を改善できることがわかった。底層溶存酸素量は約 4 mg/L であり、多くの水生生物が生息・再生産可能なレベルまで改善したと考えられた。なお、試験区 No.1 の測定地点においては、中間調査時に比べ、やや溶存酸素量が低下していた。終了時調査においては、刈取後に 2 ヶ月程度時間が経過していたために、測定地点において周囲に若干の水草が再繁茂していた。また、本地点においては、後述するとおり、クロロフィル a が小さい値を示したことから、藻類による光合成の活性が低かったと思われる。これらの影響によって、中間調査時よりも溶存酸素量が減少したと推測される。

以上のことから、実証対象製品による湖沼に異常繁茂した水草の刈取は、溶存酸素量の改善に効果的であり、利用目的の制限の解除や、水生生物の生息・再生産環境の創出（復元）に寄与できると考えられた。

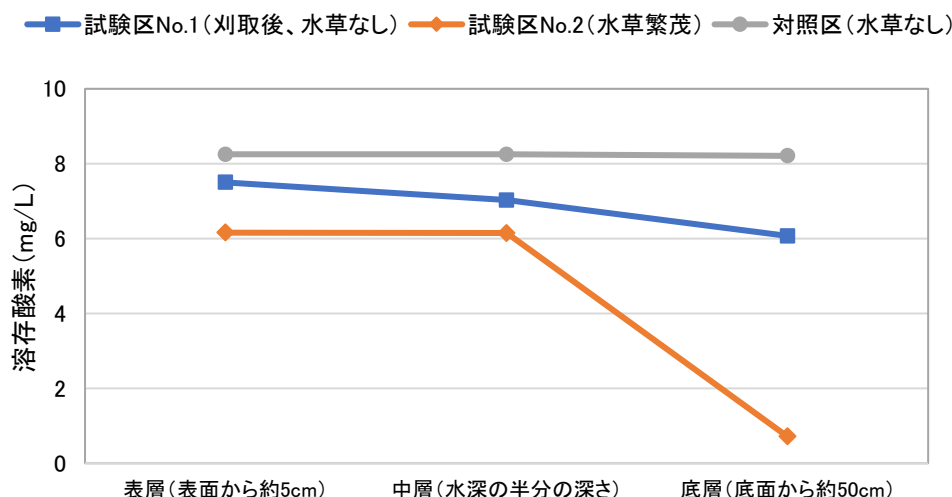


図6-10 中間調査における溶存酸素の測定結果（7/25 6:30 頃、晴時々曇）

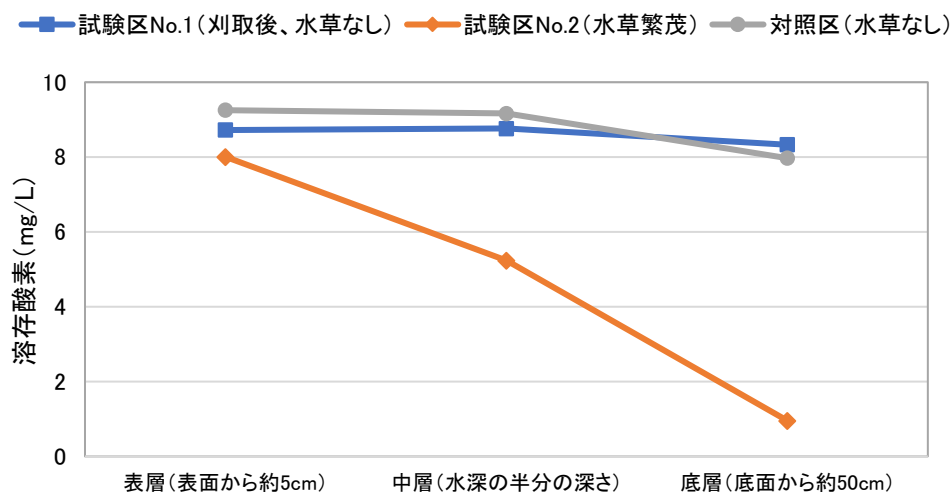
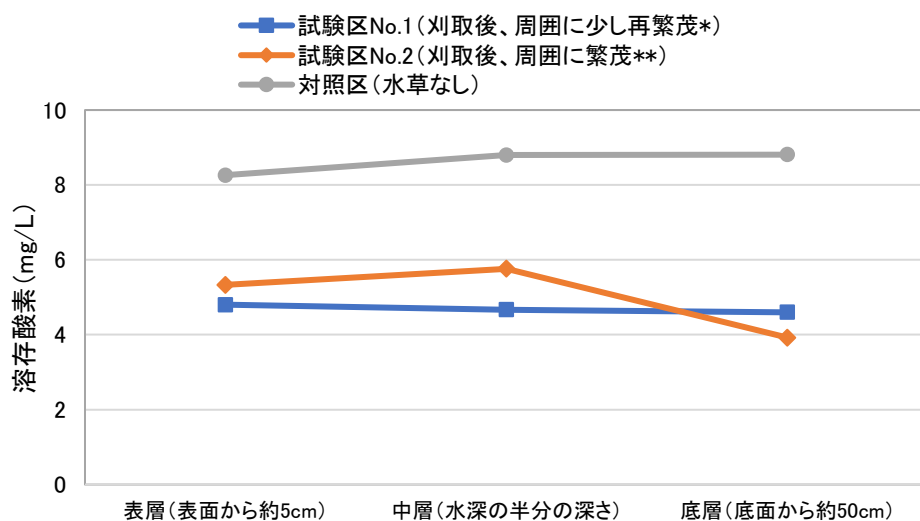


図6-11 中間調査における溶存酸素の測定結果（7/25 11:30 頃、晴）



*測定地点の周囲に、刈取後に再繁茂した水草が若干確認された。

**測定地点の周囲約3mのみ水草がない状態で、それ以外は繁茂している状態であった。

図6-12 終了時調査における溶存酸素の測定結果（9/6 11:00 頃、晴時々曇）

(3) クロロフィル a、栄養塩類、濁度

図6-13に各種水質の測定結果を示す。水草の刈取に伴い、日光が水中に届きやすくなることから、クロロフィル a が増大することが予想されたが、刈取前後で明確な変化は見られなかった。これは、諏訪湖の栄養塩濃度が全体的に低く、藻類の増殖に適した環境ではないためと思われる。また刈取を行ってから時間があまり経過していなかったことも原因の一つかもしれない。

濁度は、湖水の流速が大きい対照区の方が試験区よりも大きい値を示した。試験区では水草の刈取を行うことで、湖水の流動、循環に変化が生じ、対照区の値に近づくと予想されたが、刈取後も対照区よりも低い値で推移した。図6-8（37頁）に示したとおり、刈取後においても試験対象エリアには多くの水草が繁茂した状態であったことから、対照区と同じような湖水の流動が発生するには至らなかったと思われる。また、測定地点の湖岸からの距離や風も影響している可能性がある。

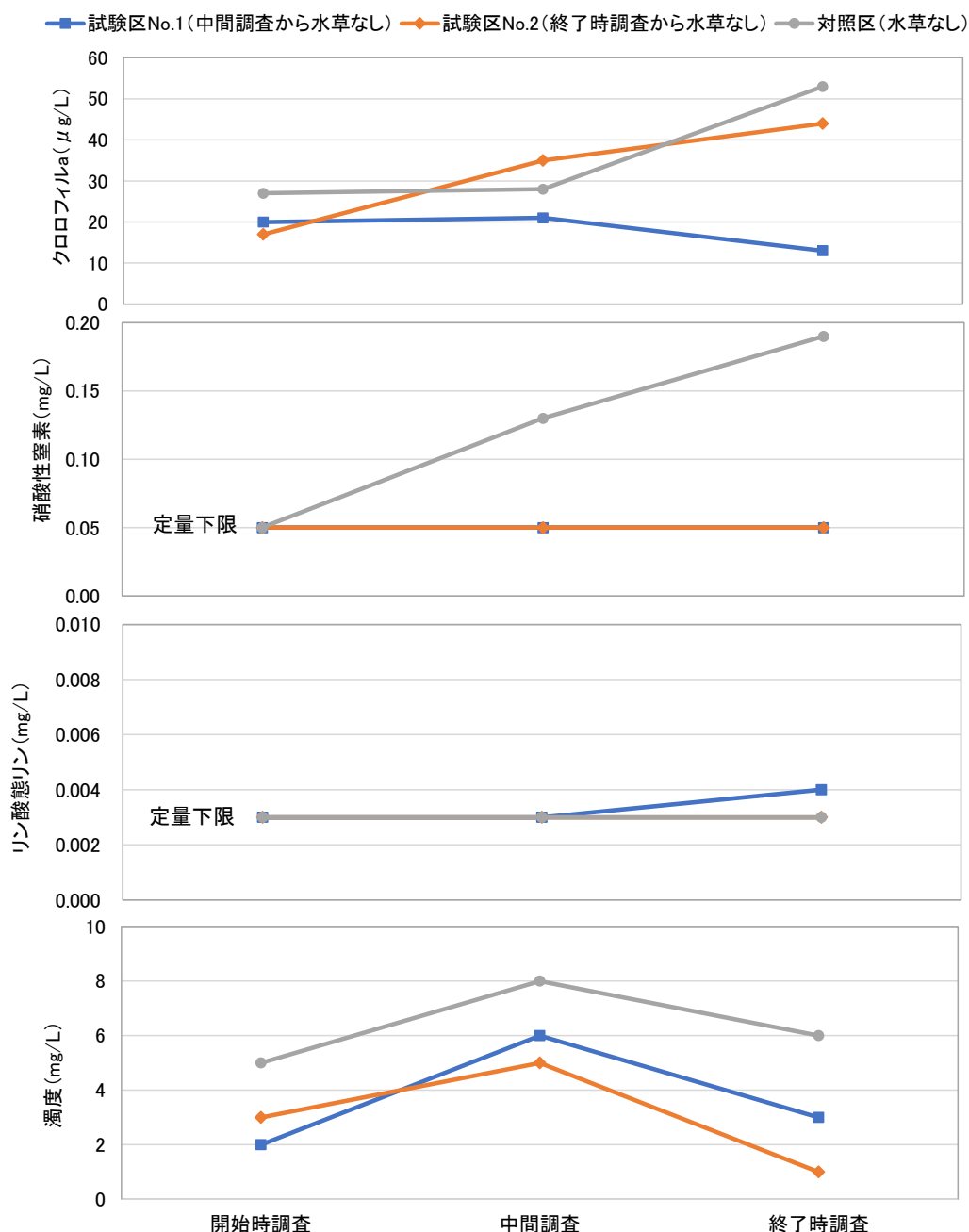


図6-13 各種水質の測定結果

6.4 環境影響、運転及び維持管理項目

表 6－9 環境影響項目、運転及び維持管理項目

分類	項目	内容・測定方法等
環境影響項目	水草の切れ端（流れ藻）の発生	実証対象製品による刈取時に、回収されずに湖に流出する切れ端（流れ藻）はほとんど確認されなかった。
	軽油使用量	試験期間中の平均で 12.8 kg/日の使用量であった。 （1 日約 8 時間稼働）
	騒音	測定結果を図 6－14、6－15 に示す。
運転及び維持管理項目	実証対象製品が稼働可能な天候	試験対象エリアで刈取を行った 7/5～7/22、8/17～23、8/29～9/3 の期間においては、実証対象製品が稼働できない時間帯は無かった。この期間の稼働時間帯（6～15 時）の時間最大雨量は 21.5 mm であった。また、最大瞬間風速は 11.5 m/s であった。このような荒天条件下でも航行することが可能であったことから、実証対象製品は幅広い天候に対応可能であると判断できる。
	実証対象製品の運転及び維持管理に必要な人員数と技能	実証対象製品の運転は 1 名が行っていた。その他に、維持管理や安全確保のために 2 名が作業を行っていた。 実証対象製品の運転や維持管理には、機械整備や水上機械に関する知識及び作業経験を有することが不可欠である。
	実証対象製品の信頼性	試験期間中に異常は発生しなかった。
	トラブルからの復帰方法	試験期間中に異常は発生しなかった。
	運転及び維持管理マニュアルの評価	運転及び維持管理マニュアルは見やすく、理解しやすい内容であった。

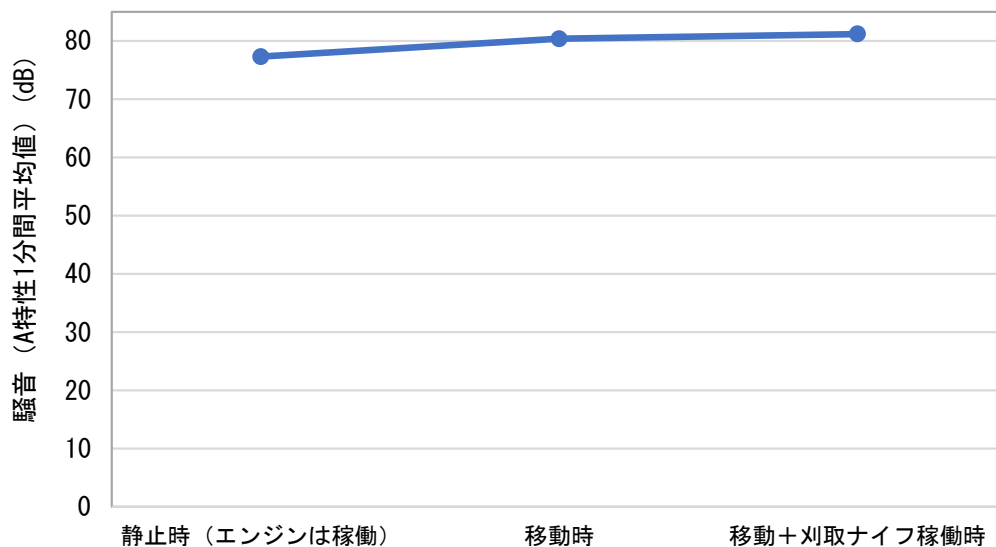


図6-14 騒音測定結果（船上の運転席付近での測定）

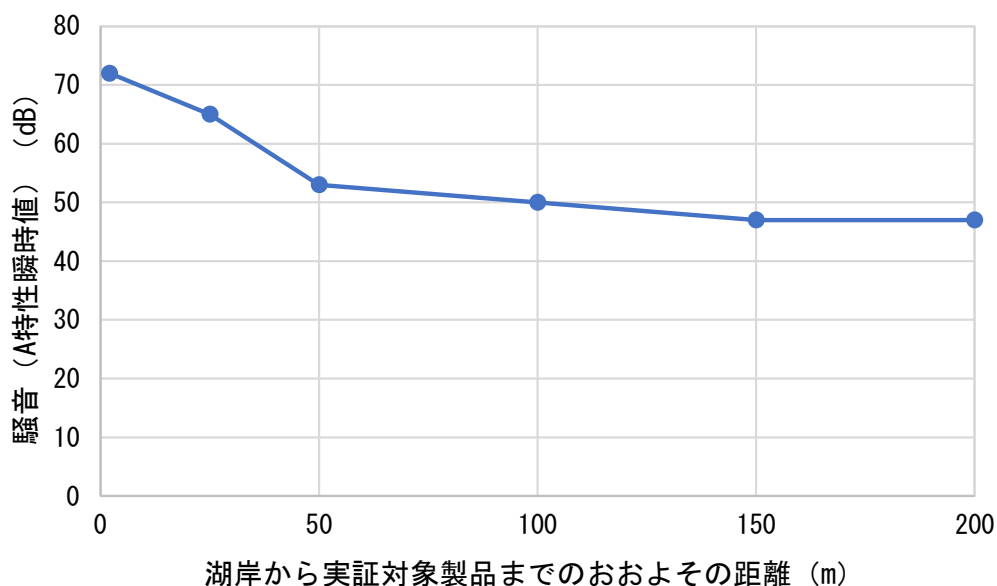


図6-15 騒音測定結果（湖岸での測定：実証対象製品移動時）

7. 所見（実証結果のまとめ）

総括として、実証結果から見た実証対象技術の特徴について、次のとおりまとめた。

（１）技術全体

実証対象技術は、バリカン状の刈取ナイフにより湖沼に異常繁茂した水草を切断し、コンベアにより貯蔵・搬出が可能な刈取専用船であり、幅広い天候にて航行可能である。試験実施場所である諏訪湖に異常繁茂するヒシを対象として、1日約8時間運転した場合、試験期間中の平均で5,100 m²/日の刈取能力を有していることが示された。南部の刈取エリアでは、刈取から約2ヶ月経過した時点で、面積割合で約11%の範囲で水草の再繁茂が見られた。既存データより、実証対象製品による水草刈取活動は、長期的に見ても諏訪湖の水草繁茂の抑制に寄与していると推測された。諏訪湖における水草の異常繁茂は溶存酸素量の深刻な低下を招いていたが、実証対象製品で刈取することで、溶存酸素量の大幅な改善が見られた。これは、刈取によって日光が水中に届くようになったために光合成が起こり易くなったこと、また湖水が流動し易くなったために表層の酸素が底層まで届き易くなったためであると考えられた。このことから、実証対象製品による水草の刈取は、湖沼の景観等の改善をもたらすのみでなく、溶存酸素量の改善に伴う利用目的の制限解除や、水生生物の生息・再生産環境の創出（復元）にも寄与できると考えられた。

（２）その他

諏訪湖の水草繁茂範囲全体に占める刈取範囲の割合は小さかった。刈取範囲がより大きかった場合には、本試験結果よりもさらに高い溶存酸素改善効果が見られた可能性がある。

付録

1. 専門用語集

(1) 実証に関する用語

用語	内容
実証対象技術	実証の対象となる技術を指す。
実証対象製品	実証対象技術を機器・装置として具現化したもののうち、試験で実際に使用したものを指す。
実証項目	実証対象技術の性能や効果を測るための試験項目を指す。
参考項目	実証対象技術の性能や効果を測る上で参考となる項目を指す。
監視項目	試験状況を監視するための項目を指す。

(2) 水質に関する用語

用語	内容
クロロフィル a	植物細胞内にあり光合成を行う化学物質で葉緑素ともいう。藻類（植物プランクトン）の指標となる。
溶存酸素量	水中に溶解している酸素の量を指す。一般に魚介類が生存するためには 3 mg/L 以上、好気性微生物が活発に活動するためには 2 mg/L 以上が必要で、それ以下では嫌気性分解が起こり、悪臭物質が発生する。
濁度	水の濁りの指標
硝酸性窒素	水中の硝酸イオン及び硝酸塩に含まれている窒素のことで、湖沼に繁茂する藻類に必須の栄養の 1 つ。
リン酸態リン	水中にリン酸イオンとして存在するリンのことで、湖沼に繁茂する藻類に必須の栄養の 1 つ。

(3) 空撮に関する用語

用語	内容
オーバーラップ	連続した空中写真を撮影する際、進行方向に沿って前後の写真範囲が重複する割合（下図参照）。
サイドラップ	連続した空中写真を撮影する際、隣接する撮影コース上の写真範囲が重複する割合（下図参照）。

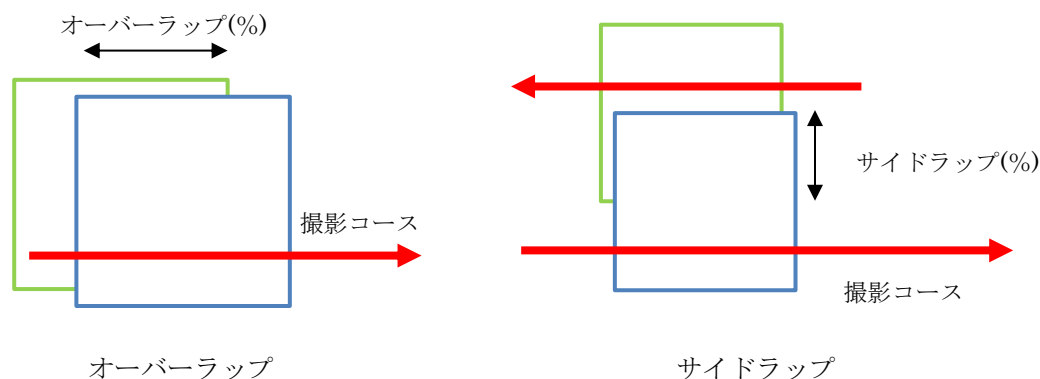


図 オーバーラップとサイドラップのイメージ

(4) 位置測位に関する用語

用語	内容
GNSS	“Global Navigation Satellite System”（全球測位衛星システム）の略で、人工衛星を利用し全地球を対象とした位置測位を行うシステムの総称。代表的なシステムとして、GPS（米国）、GLONASS（ロシア）、Galileo（EU）などがある。
QZSS	“Quasi-Zenith Satellite System”（準天頂衛星システム）の略で、日本での利用に適した軌道上を動く衛星を配置し、位置測位を行うシステムである。“みちびき”とも呼ばれる。軌道上に複数機の衛星を飛ばし、常に1機が日本上空に滞在することで安定した位置測位が可能となる。
SBAS	“Satellite-Based Augmentation System”（静止衛星型衛星航法補強システム）の略で、地上でGNSS信号の誤差や異常を監視し、衛星を介してその補正情報を送信することで、位置情報の精度を向上させるシステムである。
RTK-GNSS	“Real Time Kinematic - GNSS”の略であり、既存のGNSSから得られた位置情報に加え、地上に設けた基準局の補正位置情報をリアルタイムで加味し、位置情報の精度を上げる技術。
VRS-RTK 方式	“Virtual Reference Station（仮想基準点方式）- Real Time Kinematic”の略で、既存のGNSSから得られた位置情報に加え、仮想基準局の補正位置情報をリアルタイムで加味し、位置情報の精度を上げる技術。仮想基準局は、ネットワーク配信事業者が電子基準点の情報をもとに設定する。そのため、RTK-GNSSとは異なり基準局の設置が不要である。
基線長	基準局と観測点との距離。この距離が長くなるほど、位置測位の性能が落ちる。
RMS 誤差	“Root Mean Square Error”（平均平方二乗誤差）の略で、個々の差を二乗した上で二乗値の平均を算出し、その平方根をとったもの。 個々の差として誤差（基準となる値と測定値との差）を用いることで、精度を評価する指標であり、誤差の標準的な大きさを表す。この値が小さければ小さいほど、誤差が小さいといえる。

(5) 画像処理に関する用語

用語	内容
オルソ画像	空中写真全体を、地図と同じく真上から見たような、傾きがなく正しい大きさと位置に補正（正射変換）した画像。空中写真は、レンズの中心に光束が集まる中心投影であることから、レンズの中心から対象物までの距離の違いにより、中心から周縁部に向かうほど大きく傾いているように写り位置のズレが生じるため、この補正が必要となる。
SfM ソフト	“Structure from Motion ソフトウェア”の略。オーバーラップさせながら撮影された複数枚の空中写真を歪み補正のうえ合成することで、対象の全体像を自動的に復元してオルソ画像を作成する画像処理ソフトウェア。画像データには地理情報（3次元座標値、色情報など）の付加も行える。
GeoTIFF 形式	画像ファイル形式である TIFF（Tagged Image File Format）に地理情報（ジオリファレンスデータ）を付加したファイル形式。位置情報を持つ画像ファイルであるため、GIS のソフトウェアで扱うことが可能。
GIS	“Geographic Information System”（地理情報システム）の略で、地理的な情報を持ったデータを電子地図上に表示、解析するシステム。データは複数重ねて表示させることができ、各データの関係性や傾向を可視化できることが特徴である。また、GIS 上で距離や面積の計測が可能。

2. 品質管理に関する事項等の情報

2.1 データの品質管理

分析においては、JIS 等に基づいて作成した標準作業手順書の遵守の他、**付表 1-1** に示すデータ管理・検証による精度管理を実施した。そのほかの項目については、JIS 等に基づき実施するほか、複数の測定ができるものは平均値などを用いた。

以上のことから、データの品質管理は適切に実施されていることが確認された。

付表 1-1 計測の信頼性確認方法

項目	精度管理方法
繁茂面積	有資格者（無人航空従事者試験 3 級）がドローン撮影を行った。 また、撮影範囲内の陸上部に複数の標定点を設置し、RTK-GNSS 測量器を用いて座標値を取得し、撮影写真のオルソ画像作成時に標定点との整合を図り、面積算定の精度確保を行った。
溶存酸素	測定開始前に校正を行った。
クロロフィル-a 硝酸性窒素 リン酸態リン	一部の試料に対し、二重測定を実施した。

※秤量に用いる天秤については、定期的に外部校正を行っている機器を使用した。

2.2 品質管理システムの監査

実証が適切に実施されていることを確認するために本実証で得られたデータの品質監査は、実証機関が定める品質マネジメントシステムに従い、実証期間中に1回本実証から独立している部門による内部監査を実施した。

その結果、実証はマニュアルに基づく品質管理システムの要求事項に適合し、適切に実施、維持されていることが確認された。

内部監査の実施状況の概要を**付表 1-2** に示す。

付表 1-2 内部監査の実施概要

内部監査実施日	2023年2月27日（月）
内部監査実施者	管理本部 総務課 ISO担当
被監査部署	実証に係る全部署
内部監査結果	品質管理システムの要求事項に適合し、適切に実施、維持されていた。

資料編

1. 実証対象製品による水草刈取の様子（代表的な1地点の刈取経過写真）



刈取開始前（7/16）



刈取中（7/18）



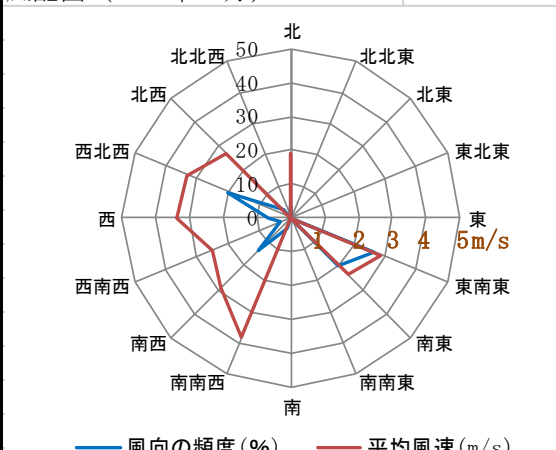
刈取中（7/20）



刈取完了（7/21）

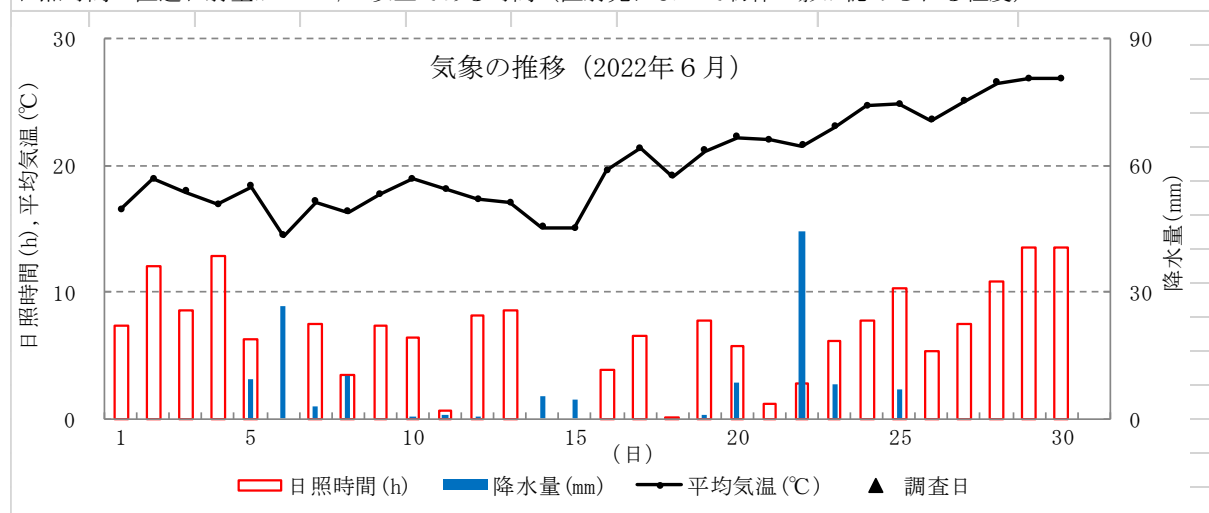
2. 気象条件の詳細

試験場所近傍の気象データ及び風配図（■：調査日）アメダス諏訪（長野県）

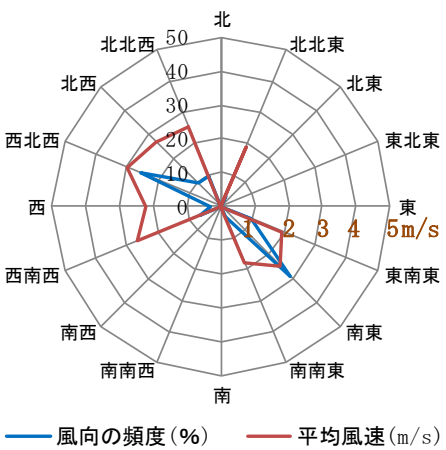
日	2022年 6月							
	降水量 (mm)	平均気 温(℃)	日照時 間(h)	平均風 速(m/s)	最多 風向	風向	風向の頻度(%)	平均風速(m/s)
1	--	16.5	7.4	2.0	東南東	北	3.3	1.9
2	--	18.9	12.1	2.8	南東	北北東	0.0	0.0
3	0.0	17.9	8.5	4.0	西	北東	0.0	0.0
4	--	16.9	12.9	4.7	西北西	東北東	0.0	0.0
5	9.5	18.3	6.3	2.7	南東	東	0.0	0.0
6	26.5	14.4	0.0	3.3	東南東	東南東	26.7	2.9
7	3.0	17.1	7.5	2.7	北西	南東	20.0	2.4
8	10.0	16.3	3.5	2.6	西北西	南南東	0.0	0.0
9	0.0	17.7	7.3	2.6	東南東	南	0.0	0.0
10	0.5	18.9	6.4	2.5	南東	南南西	3.3	3.8
11	1.0	18.1	0.7	2.3	東南東	南西	13.3	3.0
12	0.5	17.3	8.1	5.8	西北西	西南西	3.3	2.5
13	--	17.0	8.5	3.2	東南東	西	6.7	3.4
14	5.5	15.1	0.0	3.8	東南東	西北西	20.0	3.3
15	4.5	15.0	0.0	3.7	東南東	北西	3.3	2.7
16	0.0	19.6	3.8	2.5	西南西	北北西	0.0	0.0
17	0.0	21.3	6.5	2.7	南西	風配図（2022年06月） 		
18	--	19.1	0.1	1.9	南東			
19	1.0	21.1	7.8	1.9	北			
20	8.5	22.2	5.7	1.6	西北西			
21	0.0	22.0	1.2	1.9	南東			
22	44.5	21.5	2.8	2.0	東南東			
23	8.0	23.0	6.2	2.5	南東			
24	0.0	24.7	7.7	3.9	南西			
25	7.0	24.8	10.3	3.8	南南西			
26	0.0	23.5	5.4	2.7	南西			
27	0.0	25.0	7.5	2.7	西			
28	--	26.5	10.8	2.5	南西			
29	--	26.8	13.5	2.6	西北西			
30	--	26.8	13.5	2.6	西北西			

降水量：-- は欠測

日照時間：直達日射量が120 W/m²以上である時間（直射光によって物体の影が認められる程度）

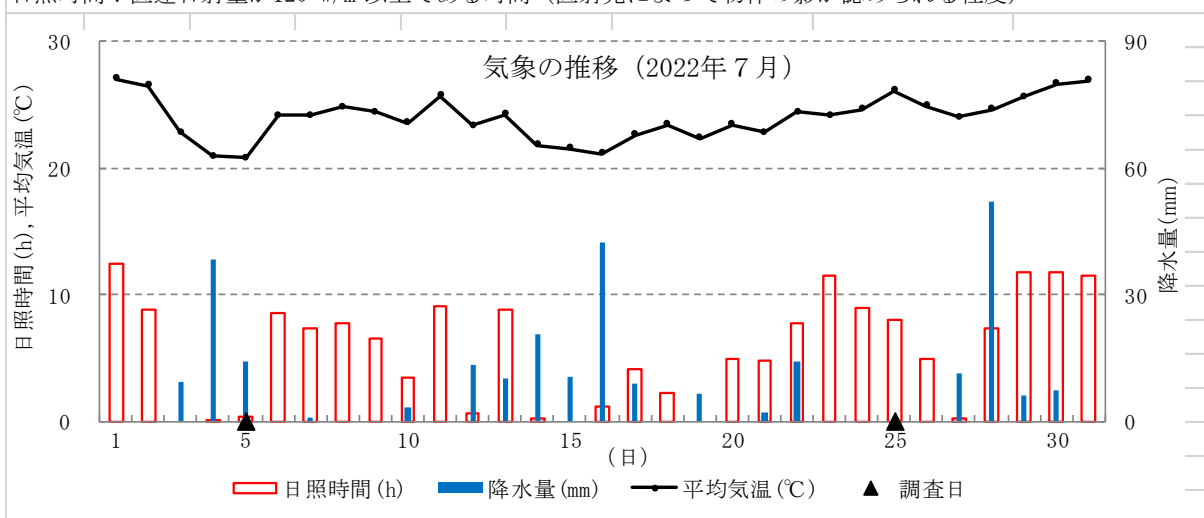


試験場所近傍の気象データ及び風配図（■：調査日）アメダス諏訪（長野県）

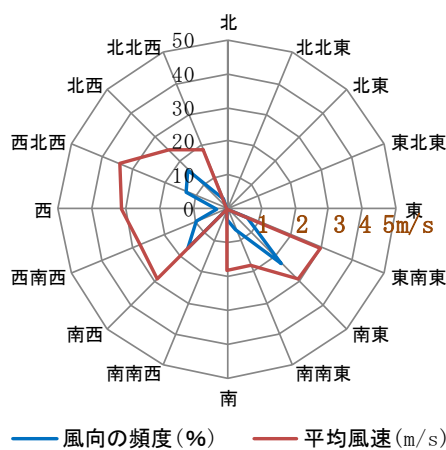
日	2022年 7月							
	降水量 (mm)	平均気 温(℃)	日照時 間(h)	平均風 速(m/s)	最多 風向	風向	風向の頻度(%)	平均風速(m/s)
1	0.0	27.0	12.4	2.2	西	北	0.0	0.0
2	0.0	26.5	8.8	2.2	西北西	北北東	3.2	1.9
3	9.5	22.8	0.0	2.7	北北西	北東	0.0	0.0
4	38.5	20.9	0.1	2.8	西北西	東北東	0.0	0.0
5	14.0	20.8	0.4	1.6	東南東	東	0.0	0.0
6	0.0	24.1	8.5	3.5	西北西	東南東	9.7	2.0
7	1.0	24.1	7.4	2.7	南東	南東	29.0	2.5
8	0.0	24.8	7.8	2.3	北北西	南南東	3.2	1.8
9	0.0	24.4	6.6	2.2	南東	南	0.0	0.0
10	3.5	23.5	3.5	2.7	西南西	南南西	0.0	0.0
11	0.0	25.7	9.1	2.1	南東	南西	0.0	0.0
12	13.5	23.3	0.7	2.8	南東	西南西	6.5	2.7
13	10.0	24.2	8.8	2.7	西北西	西	3.2	2.2
14	20.5	21.8	0.3	2.2	東南東	西北西	25.8	3.0
15	10.5	21.5	0.0	2.9	南東	北西	9.7	2.7
16	42.5	21.1	1.2	2.1	東南東	北北西	9.7	2.6
17	9.0	22.6	4.1	2.0	西北西	風配図（2022年07月） 		
18	0.0	23.4	2.3	3.0	北西			
19	6.5	22.3	0.0	2.8	北西			
20	0.0	23.4	4.9	3.2	西北西			
21	2.0	22.8	4.8	1.8	南南東			
22	14.0	24.4	7.7	2.7	西南西			
23	--	24.1	11.5	4.6	西北西			
24	--	24.6	9.0	2.5	南東			
25	0.0	26.1	8.0	2.3	南東			
26	0.0	24.9	4.9	2.8	南東			
27	11.5	24.0	0.3	2.0	南東			
28	52.0	24.6	7.3	2.3	北西			
29	6.0	25.6	11.8	1.9	北北東			
30	7.5	26.6	11.8	2.7	北北西			
31	0.0	26.9	11.5	3.2	西北西			

降水量：-- は欠測

日照時間：直達日射量が120 W/m²以上である時間（直射光によって物体の影が認められる程度）

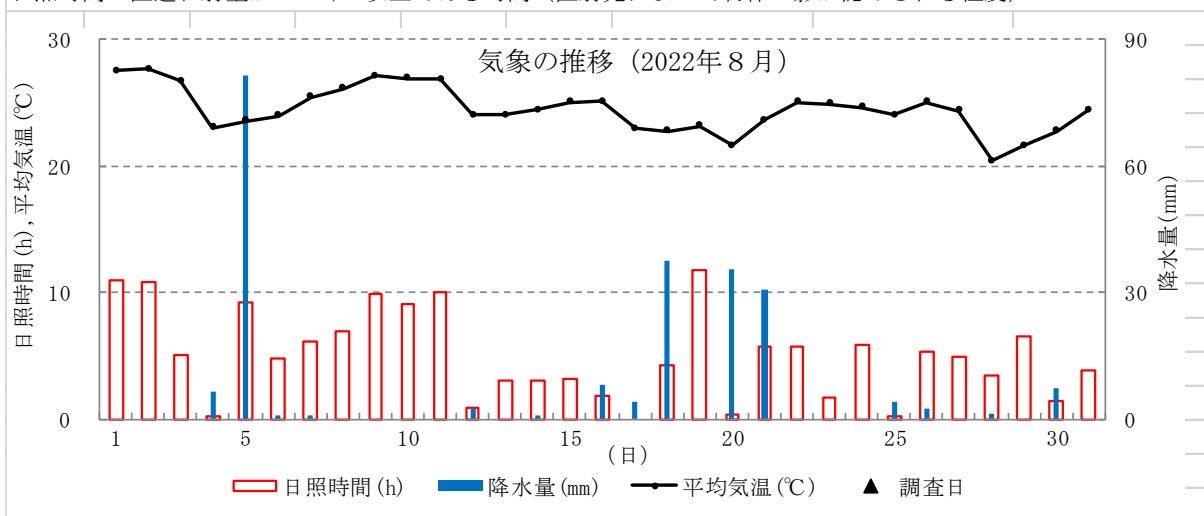


試験場所近傍の気象データ及び風配図（■：調査日）アメダス諏訪（長野県）

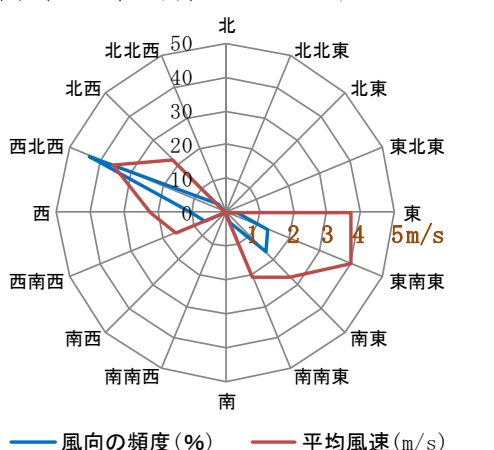
日	2022年8月							
	降水量 (mm)	平均気 温(°C)	日照時 間(h)	平均風 速(m/s)	最多 風向	風向	風向の頻度(%)	平均風速(m/s)
1	0.0	27.5	11.0	2.2	西南西	北	0.0	0.0
2	--	27.6	10.8	2.7	西北西	北北東	0.0	0.0
3	--	26.7	5.0	2.6	北西	北東	0.0	0.0
4	6.5	23.0	0.2	2.5	北西	東北東	0.0	0.0
5	81.5	23.5	9.2	2.7	北西	東	0.0	0.0
6	1.0	23.9	4.8	2.5	南東	東南東	6.5	3.0
7	1.0	25.4	6.2	2.9	南東	南東	22.6	3.0
8	0.0	26.1	6.9	2.7	南西	南南東	6.5	1.8
9	--	27.1	9.9	3.1	南西	南	3.2	1.8
10	--	26.9	9.1	3.0	南西	南南西	0.0	0.0
11	0.0	26.8	10.0	3.0	南東	南西	16.1	2.9
12	2.5	24.0	0.9	3.3	東南東	西南西	9.7	2.8
13	0.0	24.0	3.1	3.7	南東	西	3.2	3.1
14	1.0	24.4	3.0	3.2	西南西	西北西	12.9	3.5
15	0.0	25.0	3.2	2.8	南西	北西	16.1	2.5
16	8.0	25.1	1.8	3.0	西南西	北北西	3.2	1.9
17	4.0	22.9	0.0	2.2	北西	風配図（2022年08月） 		
18	37.5	22.7	4.2	2.9	南西			
19	--	23.1	11.8	2.4	西北西			
20	35.5	21.6	0.4	1.6	南南東			
21	30.5	23.6	5.8	1.9	北北西			
22	--	25.0	5.7	2.8	南東			
23	0.0	24.9	1.7	1.8	南			
24	0.0	24.6	5.9	3.1	西			
25	4.0	24.0	0.2	2.6	南東			
26	2.5	25.0	5.4	2.3	北西			
27	0.0	24.3	4.9	2.6	西北西			
28	1.5	20.4	3.5	6.1	西北西			
29	0.0	21.6	6.5	2.7	東南東			
30	7.5	22.7	1.5	2.0	南南東			
31	0.0	24.4	3.8	3.2	南東			

降水量：-- は欠測

日照時間：直達日射量が120 W/m²以上である時間（直射光によって物体の影が認められる程度）

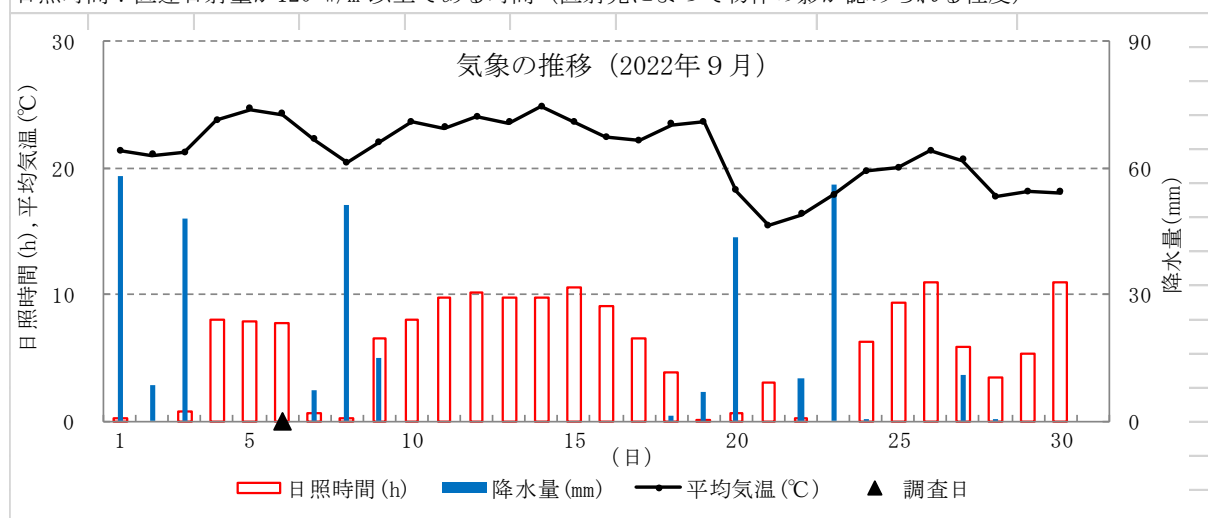


試験場所近傍の気象データ及び風配図（■：調査日）アメダス諏訪（長野県）

日	2022年9月							
	降水量 (mm)	平均気 温(℃)	日照時 間(h)	平均風 速(m/s)	最多 風向	風向	風向の頻度(%)	平均風速(m/s)
1	58.0	21.3	0.3	1.5	西北西	北	0.0	0.0
2	8.5	21.0	0.0	3.5	西北西	北北東	0.0	0.0
3	48.0	21.2	0.8	1.5	西	北東	0.0	0.0
4	0.0	23.7	8.0	2.4	東南東	東北東	0.0	0.0
5	--	24.6	7.9	3.5	南東	東	3.3	3.7
6	0.0	24.2	7.7	4.5	東南東	東南東	13.3	4.0
7	7.5	22.2	0.6	2.6	西北西	南東	16.7	2.7
8	51.0	20.4	0.3	3.1	西北西	南南東	3.3	2.1
9	15.0	22.0	6.5	3.3	西北西	南	0.0	0.0
10	0.0	23.6	8.0	2.6	西北西	南南西	0.0	0.0
11	--	23.1	9.8	1.8	南東	南西	0.0	0.0
12	0.0	24.0	10.1	2.1	南南東	西南西	6.7	1.6
13	--	23.5	9.8	2.2	西北西	西	10.0	2.2
14	--	24.8	9.7	2.8	西	西北西	43.3	3.6
15	--	23.6	10.6	2.8	南東	北西	3.3	2.2
16	--	22.4	9.1	3.7	南東	北北西	0.0	0.0
17	--	22.1	6.6	3.7	東	風配図（2022年09月） 		
18	1.5	23.4	3.8	4.2	東南東			
19	7.0	23.6	0.1	4.9	東南東			
20	43.5	18.2	0.6	7.1	西北西			
21	0.0	15.4	3.1	6.6	西北西			
22	10.0	16.3	0.2	1.5	西南西			
23	56.0	17.8	0.0	1.7	西南西			
24	0.5	19.7	6.3	4.6	西北西			
25	0.0	20.0	9.3	3.2	西北西			
26	--	21.3	11.0	2.2	北西			
27	11.0	20.6	5.9	2.4	西			
28	0.5	17.7	3.5	3.9	西北西			
29	0.0	18.1	5.3	2.4	西北西			
30	--	18.0	11.0	1.6	南東			

降水量：-- は欠測

日照時間：直達日射量が120 W/m²以上である時間（直射光によって物体の影が認められる程度）



環境技術
実証事業



<http://www.env.go.jp/policy/etv/>