

ドローンによる 超音波厚さ測定と導入効果

熊田 貴之・遠藤 将利

ブルーイノベーション(株)

1 はじめに

我が国の高度成長期以降に整備されたプラント施設、道路橋、トンネル、下水道等のインフラ施設は、今後20年で建設後50年以上経過する施設の割合が加速度的に高まり、点検の需要は増大している。その一方で、インフラ施設における目視検査は、従来、さまざまな危険な作業や膨大なコストがかかっていた。たとえば、高所点検の場合、足場を組む・クレーンを使うなど膨大なコストが掛かるほか、高所作業中の落下事故などの危険性がある。また、地下空間など閉所における点検の場合、人体に有毒なガスが充満している危険性もある。こうした課題を解決すべく、当社ではこれらの条件下、すなわちGNSSの入らない屋内空間かつ狭小空間といった特殊環境下で目視点検が安全に運用可能な球体ドローン「ELIOS」¹⁾を製造するFlyability社(スイス)と連携し、ドローン点検ソリューションを開発し、現場に適用してきた。本ソリューションは、従来の人手による点検手法に比べて、①作業員の安全性の向上、②作業効率の向上、③コストダウンなどのメリットが挙げられ、主にプラント施設や公共インフラ施設を中心に導入が進んでいる。

こうした中、船舶業界では、UT (Ultrasonic Testing の略、超音波厚さ計) 検査を含めた定期検査を頻繁に行うニーズがあり、これまでは検査のたびに操業を一時停止するために大きな負担があり、また、船舶のバラスタンクの内部や煙突などでは、検査対象に直接接触するなどをする必要があるため、目視検査以上に検査員が検査対象に接近して点検する必要がある。したがって、足場の設置、高所作業車が必要となり、点検以外に、準備や撤収などに膨大な時間とコストがかかり、高所での作業はさらに検査員にとって大きなリスクが伴う。こうした

背景などから、近年、ドローンによるUT検査のニーズが高まっている。

ドローンによるUT検査に関して、ドローンに目視検査用カメラやUT検査のための超音波厚さ計を搭載する必要があり、これまでに比較的大きなドローンが採用されたが、パイロットがドローンの位置や検査対象の位置を見失わないように補助者によるサポートが必要なために、結果として検査対象が危険な場所、アクセスできない場所などの検査への適用は難しい場合が多かった。

そこで、上記の課題を解決するために、屋内空間かつ狭小空間といった特殊環境下でも安定して飛行可能な球体ドローン「ELIOS」に、超音波厚さ測定が可能となる「UT検査パイロード」²⁾を搭載し、足場を組まずに外観の目視点検とUT検査の両方の作業を可能にし、コスト・作業の効率化や検査員の安全を確保する「ELIOSを活用したUT検査」について紹介する。

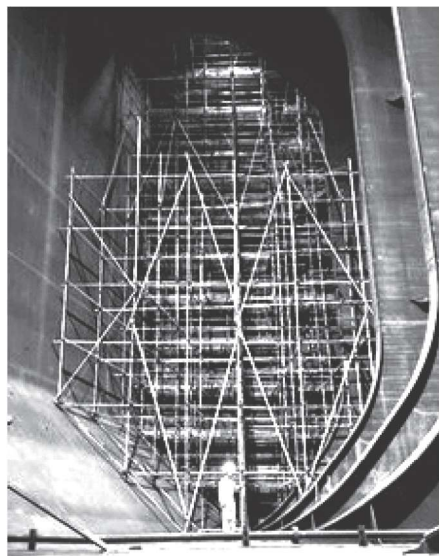


図1 従来のバラスタンク内部の点検現場

2 屋内点検ソリューション

2.1 「ELIOS」について

当社は、屋内でも安全に飛行可能なドローンELIOSを活用した点検ソリューションの提供を2018年より開始しており、機体の大きさはW480×H380mmで、50cm角の小さな開口部にも対応でき、今までに300箇所以上の現場での導入実績がある（図2）。

以下に、ELIOS（本稿ではELIOS 3）の機体の特長・機能を紹介する。

非GNSS環境でも自己位置推定を行えるよう、機体に多数のセンサ類を配置し、多少の風が吹いてもその場に留まるように自動で補正・制御し、風に流されずに飛行可能である。さらに、センサが壁面との距離を感知し、等距離を保ったまま上下左右に飛行するディスタンスロック機能も有している。これにより、パイロットは点検に専念して機体を操縦できる（図3(a)）。

機体に搭載されたLiDARにより、機体の周囲を絶えずスキャンして高密度な点群マップを作成・手元のアプリにリアルタイムに表示され、パイロットは機体周辺の状況を俯瞰して把握して安全に機体进行操作することや、点検対象の位置を確認して迷うことなく操作することが可能である（図3(b)）。

カメラは4Kカメラと赤外線サーマルカメラの2種類を搭載しており、4Kカメラは3840×2160pxの30フレーム/秒で、照度が低い空間でも0.18mm/pxの映像を残せる。また赤外線サーマルカメラにより、目では見ることができない劣化を発見することも可能である。さらにこれらのカメラは上下方向にチルトが可能で、真上方向から真下方向まで見ることができ、たとえば天井の状態を確認することができる（図3(c)）。

照明設備のない暗闇でも点検できるよう、車のヘッド



図2 ELIOS 3

ライトと同等以上の1.6万ルーメンという高輝度なLED照明を有しており、粉塵が多く視界が遮られる環境でも対象を見失わない防塵ライト機能（図3(d)）や、斜めから光を当て、くぼみやひび割れがチェックできる調光機能を搭載している（図3(e)）。

複雑な地下トンネル等の電波の送受信可能な範囲に制約がある場合、無線通信拡張ユニットRange Extenderを導入することにより、プロポ（プロポーショナルコントローラ。ドローンを操縦するコントローラ）より最大20m先までケーブルを伸ばして送受信機が配置でき、より広範囲で点検することが可能である（図3(f)）。

また、ELIOSが取得したデータを解析することでさまざまな情報が得られる。撮影した映像をフレームごとに確認し、静止画像として抽出できるほか、赤外線サーマルカメラで撮影した映像を重ねて表示したり（図4(a)）、画面上に線を引くだけで直線距離を計測したりできる（図4(b)）。さらに、撮影した写真をSfM解析（注：複数枚の写真から3Dモデルを作成する技術）することで、写真だけでは判断しにくかった構造物の勾配や歪み、断面などを把握することも可能な3Dモデルが作成でき（図4(c)）、LiDARが取得したデータを解析することで測量レベルの高精度な3Dモデルの作成も可能である。（図4(d)）。

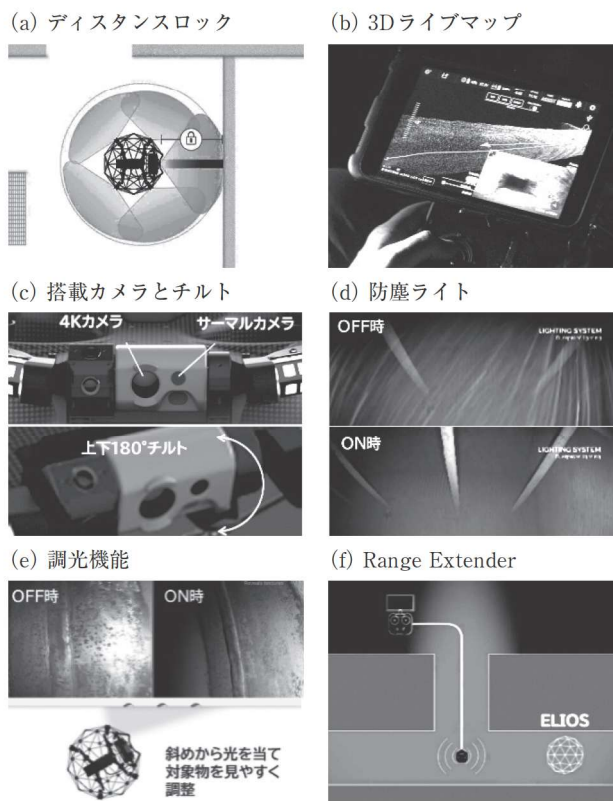


図3 ELIOSの特長

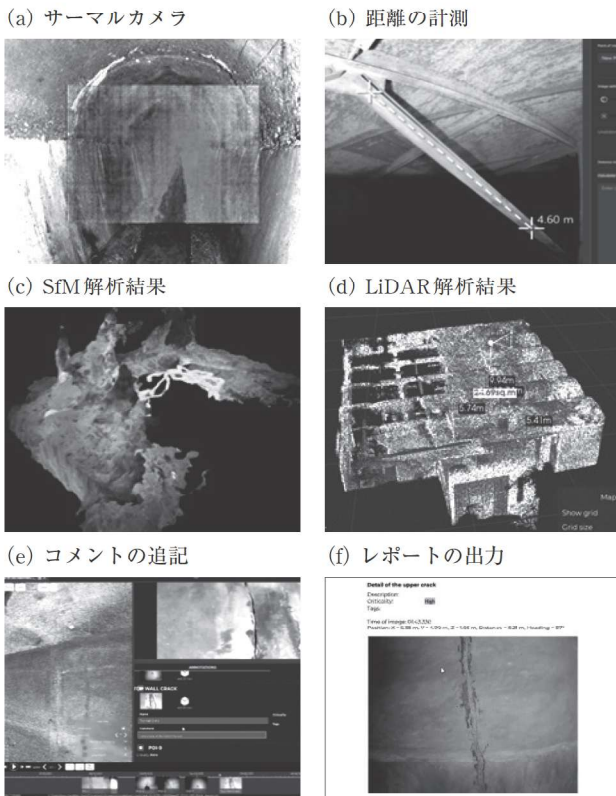


図4 ELIOSの機能

こうして得られた結果は、情報共有しやすいコメントを記入することもできるほか、レポートとして出力することもできる（図4（e）、（f））。異常時の状態を保管し将来の保全計画に参考にしたたり、過去のデータと比較して予兆保全に役立てたりする事が可能である。以下に、ELIOSを活用した導入事例を2例紹介する。

(1) 火力発電所ボイラ内の一次スクリーニング³⁾

沖縄県では、地理的・地形的な制約や電力需要規模などから原子力発電や水力発電は採用しにくく、石油や石炭、LNGを用いた火力発電が県内電力需要を支えている。㈱沖縄エネテックは、火力発電所の主要設備であるボイラ内部点検の一次スクリーニングにドローンを導入していたが、機体は屋外空撮用のドローンにサードパーティーの球体ガードを装着したものであったため、GNSS信号が受信できず、操縦は大変困難であったうえに作業員がボイラの中に入ってドローンの位置を目視で把握しながら操縦する必要があった。さらに撮影映像にガードが映り込むなどの課題もあった。

そこで、ELIOSを適用して点検を実施したところ、非GNSS環境でも安定して飛行でき、ボイラ内に立ち入ることなく安全に目視点検が可能になった（図5）。取得した映像はガードが映り込まずに鮮明な高解像度の映像が取得できることが確認できた。従来であれば、高所

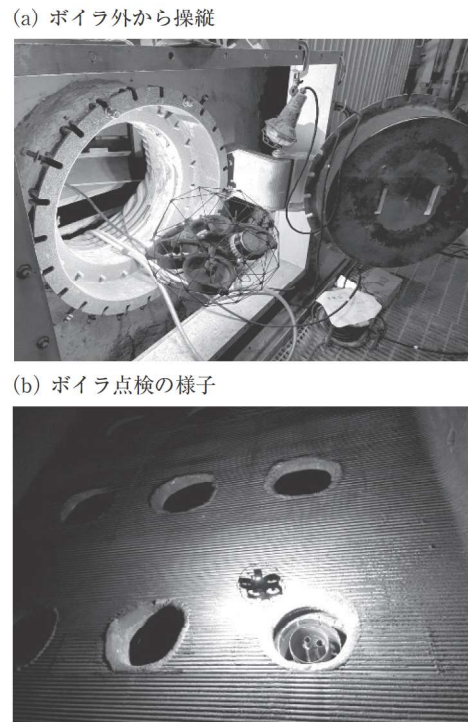


図5 ボイラ設備の点検

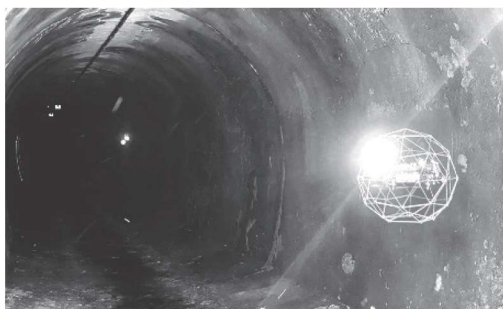
まで足場を仮設してのボイラ内の目視点検が約90分で完了し、工期短縮にもつながった。

(2) 電力施設の災害時の設備点検と地域貢献⁴⁾

九州地方は、全国的にも台風や集中豪雨による水害、土砂災害、地震など自然災害が多い地域である。災害発生後、早期復旧のためには一刻も早い被害状況把握が必要である一方、土砂崩れや道路の陥没などにより人が立ち入れない場合も多い。九州電力では、遠隔から確認できるドローンが非常に有用となることから、2015年からドローン事業を始め、電気設備の通常巡視・点検に加えて、災害発生時の被害状況確認を行っている。

災害現場におけるドローンの有用性を強く印象付けたのが、2016年に発生した熊本地震であった。九州電力は多くの電力設備に被害を同時多発的に受け、ドローンによる迅速かつ遠隔での状況把握が早期復旧に大きな役割を果たしたという。その結果、九州電力内でのドローン利活用が加速的に進み、2019年からは火力発電所のボイラ点検・煙突内部点検・橋梁点検などにELIOSを活用して社内の業務効率化を進めている。さらには自社施設の点検だけでなく、社外向けに対しても電力会社ならではの知見を活かした「九電ドローンサービス」を開始し、この中で煙突内部、橋梁、ダクト内部や水路などさまざまなインフラ設備点検にELIOSを活用し、多くの実績をあげている（図6）。

(a) 下水道内の点検



(b) 橋梁の点検



図6 インフラ設備での点検

2.2 UT検査ペイロード

本稿で紹介する「UT検査ペイロード」は、ELIOS 3に追加搭載して機能拡張する専用デバイスで、ELIOSの開発メーカーであるFlyability社が、超音波厚さ計の世界的トップメーカーであるCygnus Instruments社と連携して開発したものになる。国内においては、当社から2024年5月より提供開始している(図7)。

UT検査ペイロードを搭載したELIOS 3を用いることで、プラント施設やインフラ施設(道路橋、トンネル、下水道など)、自動車や航空機の工場、船舶ドックなど、従来の検査員が直接検査する手法では足場や特殊な機材等を要した箇所に適用できる。さらに既存のドローンでは難しかった屋内の狭小空間の箇所においても、前述したように3D LIVEマップ機能により自身の位置や検査

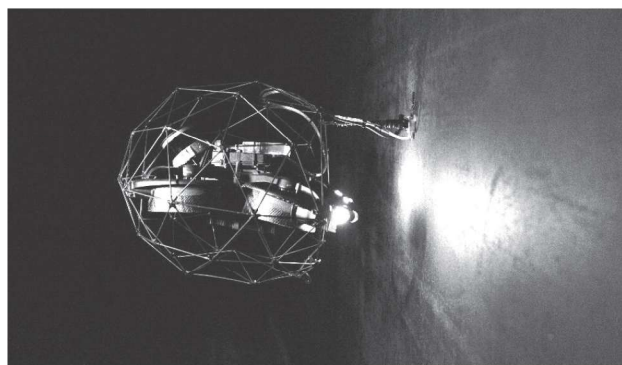


図7 ELIOS 3 UT検査ペイロード

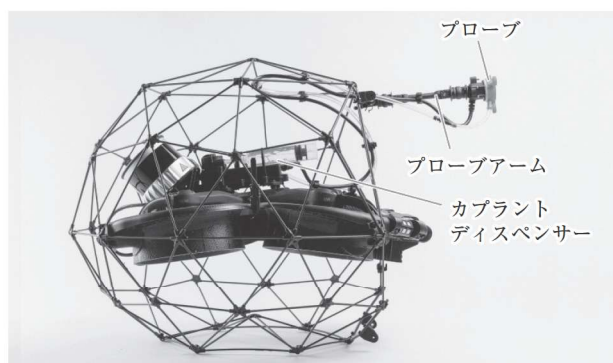


図8 UT検査ペイロードの各部名称

対象の位置が手元で分かるため、遠隔で安全に、かつ効率的・低コストで超音波厚さ測定が可能となる。

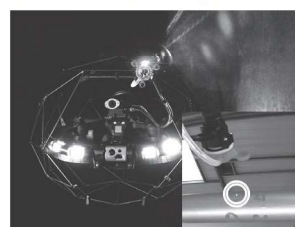
UT検査ペイロードは、主にプローブ(探触子)、プローブアーム、カプラントディスペンサーによって構成されている(図8)。

超音波を発信し点検対象と接する部分であるプローブは、点検対象に応じて、2MHz、5MHz、7.5MHzから選択できる。それぞれ、2MHzはコーティングなどの減衰材料、5MHzは汎用、7.5MHzはボイラチューブなどの小径パイプや腐食した薄板などで活用できる。また、プローブを覆うフードには強力な磁石があり、点検時の安定性を向上させている。さらに、プローブの先端部分が

(a) 3種類のプローブ



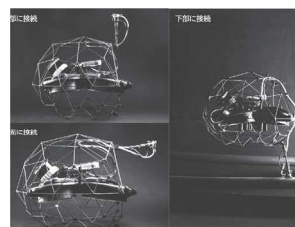
(b) レーザ光による照準



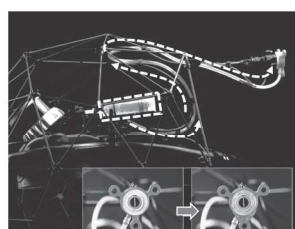
(c) 柔軟に折れ曲がる機構



(d) 取付位置自在



(e) カプラントディスペンサー



(f) アプリで残量表示



図9 UT検査ペイロードの特長

らは、レーザ光が照射されており、パイロットは対象に照準を定めて操作することができる (図9 (a), (b))。

プローブとELIOS 3のガード部分を接続するプローブアームは、狭いマンホールの通過時や、複雑な空間内で飛行の妨げにならないよう、機体本体側に折れ曲がる機構を有している。また、プローブアームは、ドローンの上部や前面、または下部に取り付け可能で、点検対象の位置に合わせて変更可能である (図9 (c), (d))。

プローブと点検対象の間には、プローブから発信される超音波を点検対象に伝達するためにゲル状のカプラント (接触媒質) が介在している必要がある。カプラントディスペンサーは、必要量のカプラント遠隔操作でプローブに供給し、点検に最適な状態を保つことが可能である。また、操縦アプリ「Cockpit」上でカプラントの残量をリアルタイムに把握することもできる (図9 (e), (f))。

また、専用操縦アプリ「Cockpit」により、A-Scan結果をリアルタイムで確認でき、使用するプローブの選択や、後述する清掃用モジュールの必要性などが判断でき

る (図10(a))。

専用解析ソフトウェア「Inspector」により、飛行中に記録した位置や測定結果を3Dモデル上に表示させることができ、A-Scan結果も3Dモデル上で表示できる (図10(b))。

点検対象の表面が付着物などにより測定が困難な場合、プローブを清掃用モジュールに交換し、対象を清掃することができる。清掃した位置を3Dマップ上に記録することができるため、清掃後に再測定する際に、パイロットは迷うことなく同じ位置で測定を行うことが可能である (図10(c))。

このように、ELIOS 3 UT検査ペイロードを活用することで、従来は別々のチームで行っていた外観目視検査や厚さ測定といった点検作業が1台で実施可能となる。

以下に、活用事例を2例紹介する。

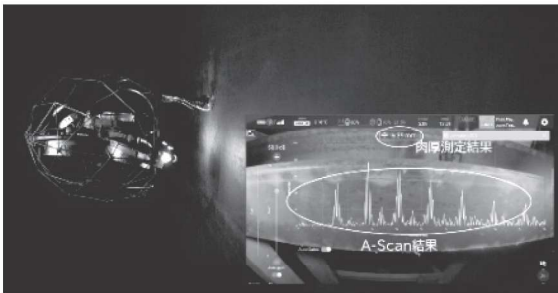
(1) 船舶内部のUT検査⁵⁾

すべての船舶は5年ごとに特別な定期検査を受ける必要があり、さらに船舶が古くなるほど、検査はより頻繁に行われるようになり、船齢15年を超えると、30カ月ごとに大規模な点検が行われるようになる。

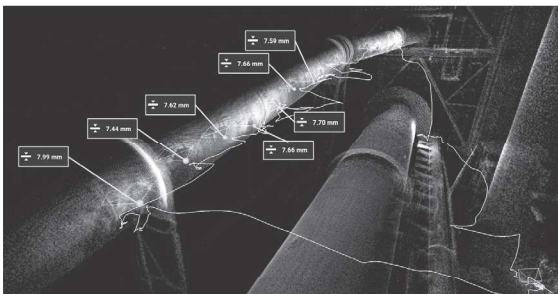
船舶点検の専門会社であるC-Bird社 (英国) は、15年以上経過した船舶の点検作業を効率化させるため、ELIOS 3 UT検査ペイロードを試験導入した (図11)。

試験導入した検査は、中型船のオイルタンク12基の検査で、このタンクは38×28×20mという大型のもので各タンクには6本の横ウェブフレームや横隔壁がある

(a) A-Scan表示



(b) 測定結果の位置特定



(c) 清掃用モジュール



図10 UT検査ペイロードの機能

(a) 下水道内の点検



(b) 橋梁の点検



図11 バラストタンク内のUT検査

など、複雑かつ足場や高所作業車が必要な箇所が多数ある構造であった。

C-Bird社は、ELIOS 3 UT 検査ペイロードを各タンクの周囲に飛行させ、検査計画で要求された点検箇所と、検査の専門家が要求した追加エリアの測定を行った。その結果、足場を組んだ場合は数千時間かかるのに対して、ドローンを使った検査方法は7日以内で完了することができた。これは、足場を移動したり、高所作業車を調整したりする必要がなかったことに加えて、3Dモデル内で表示される調査の結果が専門家の保守作業の重要ポイントの特定する分析に役立ち、データの収集が効率的に完了できたためである。

さらにC-bird社は、検査結果を世界の主要な船級協会の一つ、米国船級協会（American Bureau of Shipping）に提出し、その審査の結果、ELIOS 3 UT 検査ペイロードはESP（Enhanced Survey Program）船体計測ができるサービスサプライヤーとして認定された。

(2) 煙突のUT 検査⁶⁾

カナダとアメリカで大規模施設の設備点検を手がけているオスプレイ・インテグリティ社（カナダ）は、カナディアン・ナチュラル・リソーシズ社（以下、CNRL社）が管理するカナダ・アルバータ州北部の石油・ガス施設の煙突の検査で、ELIOS 3 UT 検査ペイロードの活用について試験導入し、効果検証を実施した。

CNRL社の煙突は、余剰ガスや廃ガスの排気口として機能しており、摂氏180度に達することもあるが、アルバータ州の厳しい気候に耐えるため、煙突の外側は煙突の温度を維持するための断熱材で保護されている。従来の検査では、この断熱材を剥がしてから検査を行う必要があるため、まず断熱材専門家がクレーンを使用して、煙突の断熱材を剥がした後で、検査の専門家がクレーンを使用して検査を行っており、作業時間が長時間かかるだけでなくクレーンの使用コストがかかっていた。

そこでオスプレイ・インテグリティ社は、ELIOS 3 UT 検査ペイロードを用いて、煙突の外側からデータを収集するのではなく、煙突の内側からUT 検査が可能か、テストを行った。その結果、外側の断熱材を剥がすことなく、煙突のUT 検査を行うことができる事がわかり、すべての検査を効率的に行うことができた。全行程に要した時間は60分足らずで、従来のクレーンを使用した場合に比べて何分の一かの時間であった。さらに、オスプレイ・インテグリティ社はUTドローン検査が従来の超音波検査に比べて遜色がないこと、そしてUTドローン検査の結果が3Dモデル上で分かりやすく表示可能なことを示し、CNRL社を満足させた。

(a) 煙突内部の様子



(b) A-Scan 結果をリアルタイムで確認



図12 煙突内部のUT 検査

以上、ELIOS 3 UT 検査ペイロードは、煙突の状態の記録保存や将来のメンテナンス作業の計画に役立てることが示された。

3 おわりに

本稿では、「ELIOS 3」を活用したドローン点検ソリューション、「ELIOS 3 UT 検査ペイロード」を活用したドローンUT 検査ソリューションについて、導入事例を交えて紹介した。今後、既に導入が進んでいるプラント施設や上下水道・橋梁といった公共インフラ施設に加えて、新たに船舶などの業界において、ドローンUT 検査で点検コストの負担軽減、検査員の安全を守り、貢献していきたいと考えている。今後、施設の安定稼働、安心・安全な施設点検・管理の実現に向けて、ドローンやロボットが自律的に点検するソリューションを開発していく予定である。

参考文献

- 1) “ELIOS 3 特設サイト”, 2024-8-20, <https://www.blue-i.co.jp/elios3/>
- 2) “ELIOS 3 UT 検査ペイロード”, 2024-8-20,
- 3) “ELIOS 3 による発電所ボイラー内部点検 抜群の安定感で、点検時間をさらに短縮”, 2024-8-20, <https://www.blue-i.co.jp/cases/okiden/index.html>
- 4) “九州電力がELIOS 3 を正式導入 自社で培った点検・課題解決ノウハウを全国へ”, 2024-8-20, <https://www.blue-i.co.jp/cases/kyuden/index.html>
- 5) “船体検査のための高所作業(15,000時間)を大幅に軽減”, 2024-8-20, <https://www.blue-i.co.jp/elios3casestudies/drone-elios-3-ut-ship-hull-inspection.html>
- 6) “ELIOS 3 UT 検査ペイロードによるドローン煙突点検”, 2024-8-20, <https://www.blue-i.co.jp/elios3casestudies/stack-inspection-ut.html>