

ドローンによる目視検査適用事例と UTMドローンの開発について

Examples of visual inspections using drones and the development of UTM drones

スマート保安におけるドローン点検

(株)ウィズソル 小柴 貴之

1. はじめに

近年、急速に発展するIT技術や進展著しい技術革新に加え、少子高齢化や人口減少をはじめとした社会構造の変化を捉えることが重要視され、経済産業省が推奨するIoTやAIなどのデジタル技術を駆使して産業保安の安全性と効率性を高める「スマート保安」の重要性が顕著に産業界に求められている。

非破壊検査業界でも、ものづくりの発展とともに検査装置のロボット化、IoT化が進んでいる。

当社では、自社で検査機器の開発を行っており、ワイヤレス技術への取り組みを2013年に着手した。当時、最初に開発した目視ロボット(i-ROBO)は、鋼構造物の外面腐食を対象に、人のアクセスできない高所での適用を目的に開発した。i-ROBOは遠隔操作になるために、独自の機能として自動制御走行機能を初めて導入し実用化した。その後、配管設備の減肉調査を目的とした超音波板厚測定装置UDP(Ultrasonic Doctor Pipe)-32を2019年に開発、バッテリー駆動でポータブルな装置であり、配管の板厚測定が手軽に行える機能を搭載した。

本稿で紹介するドローン目視点検とUTMドローン(Ultrasonic Thickness Measurement drones)は、詳細検査適用前の検査計画における全体検

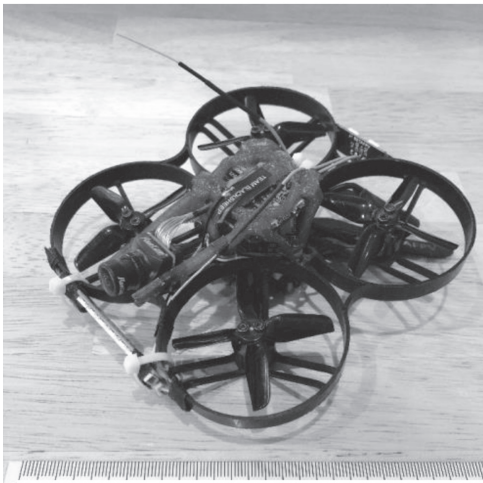
査(スクリーニング)に特化した装置であり、ドローン目視検査の適用事例とUTMドローン開発状況について紹介する。

2. 目視ドローンの概要

ドローンにカメラを搭載し目視点検を行うサービスについては従来行われているが、一般的にドローン撮影は屋外向けを対象としている。産業プラント内のような狭隘部での自律制御が困難な箇所でのドローン操作は難しい。また、取得データの評価を行うためにはNDTなどの認証資格を保有する検査技術者としての知見も必要である。当社は、狭隘部でも適用できる写真1にあるドローンの自社開発と検査員におけるパイロットの技能訓練を行った。

オリジナルドローンの仕様は以下である。

- 重量：約20～120g
(バッテリー含まず)
- サイズ：65～115mm
(プロペラ間距離)
- プロペラサイズ：31～41mm
- 使用無線周波数：5GHz帯・2GHz帯
- 最大飛行距離：約100m(狭隘内部点検)
：400m(野外における点検)
- 最大速度：30～100km/h
- 最大飛行時間：7分



オリジナルドローンイメージ
(適用部位に合わせて製作する)

写真1 ドローン

3. オリジナルドローンの特徴

オリジナルドローンの特徴については、基本寸法はプロペラサイズ41mmをベースとして機体大きさを決めているが、目視点検において対象部位をどの方向から望むかにより、搭載カメラ角度・カメラの能力により検査毎に製作するため大きさが異なる。また、暗所の照明確保についても重さが異なるため機体の大きさに起因する。

カメラの解像度については、フルハイビジョン(1,920×1,080ピクセル)・2K(2,048×1,080ピクセル)・4K(3,840×1,920ピクセル)であり、360°カメラでの5.7Kにも対応する。実際の点検においては60インチ以下のモニターで確認する機会が多い。2Kより4Kは素子が細かく暗い映像に見えるので、2Kでのデータ提出を推奨している。遠くからの撮影でデジタルズームで観察する場合は、理論上有利には考えられるが、実際ドローンで得られた映像は動揺しているためズーム拡大することによりボケて確認しづらい映像となる。ウィズソルドローンは機体が小さなことから近接目視が可能のため、カメラに

ズーム機能をもたない。ズーム機能カメラを搭載することで重量が高みドローン本体寸法を大きくすることになり、不利になるのであえてズーム機能カメラを搭載していない。

その他の特徴として、ウィズソルオリジナルドローンの機体には、市販品にある各センサー(自動ホバリング・障害物防止・GPS位置確認)がない。理由としては、各センサーは赤外線等によりドローン機体を安全な空間で飛行させるためのものであるが、あくまで屋外を対象にしている。

産業インフラにおける塔槽内は、大半が鋼材で覆われている。しかも、狭い空間が多く各センサーが搭載されている場合、安全な空間領域を確保できないため自動着陸をしたり、コントロールが不能となり得る。また、塔槽類の側板は曲率がきつい円柱形状になっているため無線が鋼材で跳ね返り、機体は安定した無線が届かず、コントロールできない状況にもなる。その他、内部点検ではないが、栈橋の点検において水面近くの飛行をする場合は、水面をGL(グラウンドレベル)とセンサーが勘違いし誤作動として着陸することもある。安全とされている市販品に搭載されている各種センサーがない用途に合わせたドローンを作製し点検することが、産業における点検として安全に飛行できると当社は考えている。そのため、高い技術力のあるパイロットの育成と、実務前のテストが必要となる。飛行技術についてはとてもシビアな運転技術が必要となるため、3,000時間以上の飛行訓練をしたパイロットの技量が要求される。

もう一つの特徴として、視野内飛行としているが、鋼材の影や塔槽内の付属品(トレイ等)により直視できない場所を飛行できるように、ドローンに乗って操縦しているような視線で操縦をすることができる。FPV(First Person Viewの略で一人称視点という意味)ゴーグルを使用しパイロットは操縦する。そのためゴー

グル内には、バッテリー残量と電波状況がリアルタイムに表示され安全な飛行にも一役を買っている。また、デジタル映像がゴーグル内に表示されることを生かし、別モニターに同時に映し出すことが可能なため、目視状況をリアルタイムにユーザーと確認することも可能である。

そのため、手戻りすることなく見たいところを念入りに点検することができる。最近のIoT技術として、デジタル画像をリアルタイムにweb会議システムに反映させることも可能で、工場内にいなくても世界のどの地域からでも撮影を同時に確認することができる（2秒程度の遅延はある）。

4. ドローン目視点検における検査実績

産業インフラにおけるドローン目視点検について紹介する。

(1) 石油化学工場における塔槽点検での実績

石油化学工場の塔槽類より異音があり臨時的に開放し点検をした事例について紹介する。

一部抜粋した点検時の写真2より、ボルトナットの有無および腐食状況や使用直後の汚れ状況が確認できる。狭い空間含み近接目視同様の確認結果が得られることがわかる。一番のメリ



写真2 塔槽類における静止画

ットは、マンホール開放直後に温度が外気と大きく変わらない状況下であれば、酸欠の心配なく、点検が可能である。また、足場設置による時間と費用を大きく削減し原因箇所を見つけることができる。損傷等が確認された場合は、点検→補修計画（部品の手配）が速やかにできることにより、最小限の足場におけるメンテナンスが可能となり、より速い復旧が見込まれ、工場における生産性にも大きなダメージを与えない。

同様な事例とし、発電所ボイラー炉内でも実績があり、初動対応において復旧までの工程を2~3week短縮することができた。

(2) 煙突内部点検の実績

煙突内部点検における実績として、写真3の360°カメラを使用し点検をした事例を紹介する。



写真3 360°カメラ撮影状況

高さ約40m直径1.2mの煙突内部点検を下マンホールより点検した。実務、飛行時間約10秒程度でデータを得ることができた。360°カメラのデータは、専用ソフトウェアにて解析可能であり汎用性はある。デジタルズームで十分に槽内のススの付着状況や付属品の詳細状況まで確認でき、スクリーニングレベルの検査は十分に可能である。

煙突内部点検において、いくつか課題がある。

ドローンの基本性能では前進は得意ではあるが、安定して上昇することは不得意である。飛

行体についてはすべて同じ性質を持っている。似ているものとしてはヘリコプターやオスプレイも同様で、前へ推進するエネルギーで上昇することと比べプロペラ回転による浮力（実際はプロペラの回転から生まれるエネルギーで機体を上へ引張り上げている力）のみでホバリングはかなりのエネルギー損失であり軽微な気流に影響を大きく受ける。今回の事例では40mとあまり高くないが煙突効果であるドラフトと渦状の気流に一時機体があおられそうになった。冒頭にて機体の仕様で、最大速度30~100km/hとあるが、これは例えば風速10m/sに飛行させると時速換算すると36km/hとなり、風向き方向に同スピードで飛んだ場合は、その場に停滞できる。安全に飛行し帰ってくるためには、約2倍以上の速度能力がある機体が要求される。そのため、ある程度の風速（当社ドローンにおいては、平均風速7m/sを飛行限度としている）環境で安全飛行するためには現地での墜落等を避けるための飛行能力の機体と実証実験が必要とされる。

他に、金属筒内では、GPS（グローバルポジショニングシステム）も遮断されるためジャイロ機能も失う。そのため槽内でどの方向を向いているかも課題となった。現在は、どちらの方向を向いているかを判断するため、改良研究を行っている。

5. スマート保安適用における課題

経済産業省をはじめとし、総務省・厚生労働省の3省より「スマート保安」の実用化がすすめられ、産業インフラにおいてもドローンの適用についてかなり活発化している。

ドローン使用についていくつかの課題がある。まず一つ目は、産業インフラにおける各工場での運転中に行う点検で、各プラントでは危険物を取り扱っており、防爆構造の機器による点検が必要となっている。ドローンについては軽

量化が課題となるため、相反する防爆構造の壁がある。今の国内の基準で適用するドローンを製作した場合、重量が増すことにより大型機になりドローン点検のメリットが大きく失われる。ドローンを運転中点検で活用するためには、いくつかドローン機体についての性能における詳細な適用措置が必要と考えられる。防爆であるからには着火リスクの低減された部品が必要である。ドローンにおける防爆措置が困難な部品は、モーターとバッテリーである。

① ドローン機体のモーターがブラシレスモーターを使用している機体は、着火リスクが低い。

- ブラシモーター：ロータ側にある整流子と固定側のブラシが通電しながら摺動している。すなわちブラシモーターでは接点が擦れ合うため回転に伴い接点が切り替わる際に接点でスパークが発生する。
- ブラシレスモーター：整流子やブラシなどの機械的な接触部を取り除いたモーター。接点がないためスパークが発生しない。制御回路が必要なためブラシモーターと比べると高価（当社のドローンはこちらを採用）。

② 使用するバッテリーの種類で、リチウムポリマー式を採用した機体については着火リスクが低い。

- リチウムイオンバッテリー：電解質が液体であり、揮発性が高く可燃性。液漏れの可能性もある。製造時の制御回路不良で異常発熱や発火が起きる。体積当たりのエネルギー密度が高く充放電サイクル寿命も長い。
- リチウムポリマー：電解質がゲル状であり揮発し難く燃えにくい。形状を自由に加工できる。リチウムイオンに比べて製造プロセスを自動化することができず高価。充放電サイクル寿命が短い（当社のドローンはこちらを採用）。

二つ目の課題としては、免許制度がある。現在は、国土交通省推奨の免許制度について発表されているのが、本筋とみられる。色々な団体から出ている免許が存在するが、実際は、機体の登録義務と登録運転者の実務訓練時間の申請が現状の確認できる国土交通省からの通達事項である。

産業としてドローンを活用される際は、登録した機体の使用を推奨する。

今後、前記二つの課題はドローン適用のために早期解決されると予測している。そのため、数多くの点検を行える全数検査（スクリーニング）に検査員の目でドローン技術を活用したい。

6. 肉厚測定ドローン (UTMドローン) 開発について

次に、現在開発中の肉厚測定ドローンについて説明する。

当社では、超音波探傷器を搭載したドローンを令和2年度の産業保安高度化推進事業費補助金に採択され新しいスタイルの肉厚測定を目指し開発している。

第1図の写真が、開発途中の肉厚測定ドローンであり、黒丸が超音波探触子を搭載している部位を示す。

最終仕様は未確定であり、オリジナルド

ローンと比べると大型化しているが、海外製の市販品より小型である（※市販の肉厚ドローン（約3kg）に比べ、機体が軽量化 総重量（約2kg））。

各プラントにおいて運転中点検時の検査計画の一環とし、塗膜上の外面より測定し、石油タンクや静機器のスクリーニング点検を目的としている。

ドローンが対象物に近づき探触子を接触させその状態を維持したまま、上昇飛行し線状に連続的に肉厚測定を行う。

保存したデータはパソコンに転送し解析することで、肉厚値を確認する。

肉厚測定ドローンの構成について説明する。

ドローン本体に超音波探傷器と探触子、無線通信のための送信ユニットを搭載。PC側には無線の受信ユニットと自社開発解析ソフトで構成されている（写真4）。

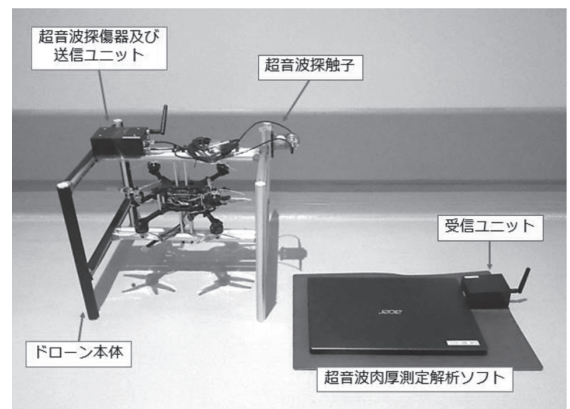
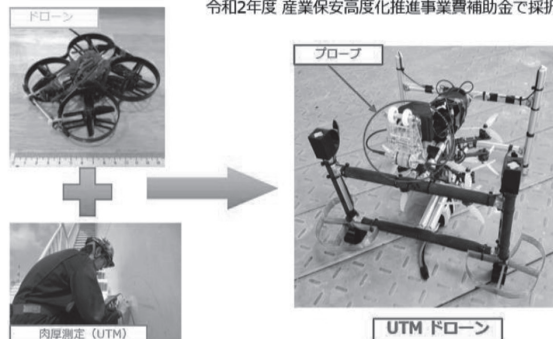


写真4 肉厚測定ドローンの構成

■ ドローン+超音波=肉厚測定ドローン

令和2年度 産業保安高度化推進事業費補助金で採択



第1図 肉厚測定ドローン

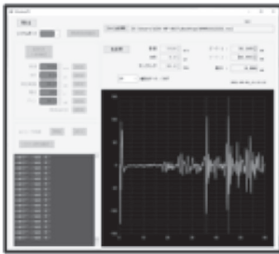
測定イメージは、超音波が対象鋼材に伝搬しているかの確認は地上のPCと無線で繋がっているのでリアルタイムで確認できる。

対象面への接触をカメラにて確認後、ドローンを上昇させ200~300mm長さの線状測定を行う。

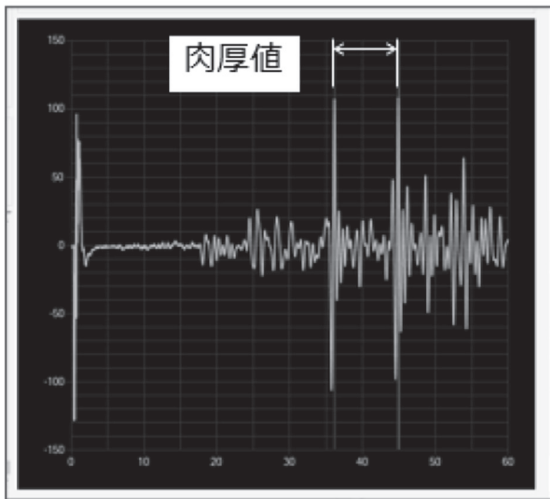
取得したデータはドローンに搭載したSDカードに保存する。測定が完了しドローンが戻っ

てきたら、SDカードに保存したデータを専用のソフトで解析をする。

データは、第2図のAスコープ（波形データ）を取得することで、肉厚の数値だけではなく、波形データも収録し解析することで異常値など判断が可能である。



(a) PC画面



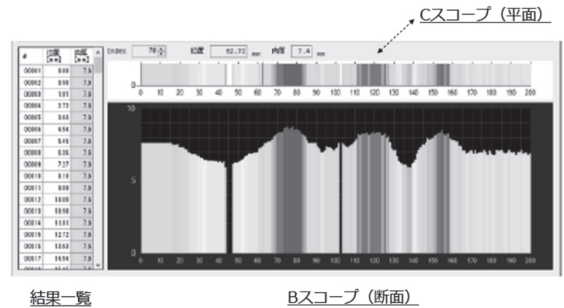
(b) Aスコープ

第2図 データ取得画面

測定結果の品質はAスコープの波形データとNDI UT-2の有資格者が判断することで担保できる。

また、一般的な肉厚測定の規格（JIS Z 2355）で規定される精度を有している（肉厚測定についてはパルス法にてJIS Z 2355の測定方法で行う。測定精度は $\pm 0.1\text{mm}$ 。測定位置精度は静止しないので100mm程度の差異が生まれるためスクリーニングとしている）。

測定結果は、当社の連続板厚測定技術のノウハウにより、断面・平面表示や第3図のカラーマッピング表示が可能である。



結果一覧

Bスコープ（断面）

カラーマッピングにより視覚的な判断が可能

第3図 カラーマッピング表示

開発状況は、検証段階であるがある程度の健全な状況における塗膜上からの測定は問題なく測定可能である。内部点検においては、スケール除去の問題を抱えている。

7. おわりに

今回はドローンについて特化した、非破壊検査業界をはじめ、多くの業界でロボット技術の活用やAI機能が今後も不可欠になる。また、最近では、カーボンニュートラルが一般化し、エネルギー産業の変革に大きく影響を与え加速化している。水素事業における関連法規の改定や関連する技術発展がより期待されている。当社では、時代の変化に対応できる非破壊検査技術をこれからも柔軟に提案する所存である。

【筆者紹介】

小柴 貴之

(株)ウイズソル ドローン検査センター長