

[寄稿]

## 狭小空間専用ドローンの特徴と電力設備での活用事例について

北川 祐介 (株式会社 Liberaware  
スマート保安事業部)



### 1. はじめに

(株) Liberaware（本社千葉市）は、主に「狭い・暗い・汚い」狭小空間専用のドローン開発と製造を手がける企業である。当社のドローンは、大空を飛行する一般的なドローンと違い、狭小空間を安定して飛行できるという特徴を有し設備の点検業務に活用されている。

本稿では、当社の狭小空間専用ドローンの性能・機能面の特徴と、電力設備などでの活用事例を紹介する。

### 2. 狭小空間専用ドローンの性能と機能

#### (1) ドローンの特性～地面・壁付近での不安定性～

「狭小空間を飛行するのであれば、機体サイズを小さくすればよい」という声をよく聞けるが、事はそう単純ではない。

ドローンのような回転翼機には、地面(床面)付近や壁面付近を飛行する際に、図1左のように、姿勢が不安定になるという特性がある。地面近くを飛行すると大きく傾いたり、壁面

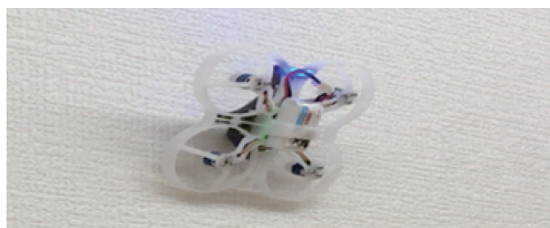
付近を飛行すると壁に吸い寄せられたりする。ドローンは、重力に対抗する上向きの力をプロペラの高速回転による推力によって生み出すが、その際、機体の大小にかかわらず強力なダウンウォッシュ（下向きの風）が発生するからである。特に、床面や壁面が近い状況が続く狭小空間では、この特性が安定飛行の妨げとなる。

当社では、そういったドローンの特性による問題を克服し、「狭い・暗い・汚い」極小空間でも安定的に飛行できるドローンを開発した。次節以降では、当社の極小空間専用ドローン「IBIS（アイビス）2」を狭小空間にどう適合させたかについて説明する。

#### (2) IBIS2 の形状と姿勢制御技術

IBIS2の外寸は、図2に示す通り、194mm × 199mm × 58mm（プロペラガード込み）で、重量は243g（バッテリー込み）である。

基本的に、天井裏のような狭小空間での飛行では、ドローンがどこにも衝突することなく行って帰ってくることは想定できない。むしろ多少の衝突を繰り返しながらも、良い映



＜一般的なドローン：壁に吸い寄せられて不安定になる＞



＜当社のドローン：壁面近くを飛行させても安定している＞

図1 壁面近くを飛行した際の姿勢の比較



図2 狭小空間専用ドローン「IBIS2」の外観

像を撮影して無事に帰還することが求められている。

様々な箇所に接触しながらもすぐには姿勢を崩さないことや、壁に吸い寄せられても安定した姿勢で壁からゆっくり離れられることが重要である。ここで必要となるのが「姿勢制御技術」である。

当社はIBIS2用にフライトコントローラーを独自開発した。フライトコントローラーとは飛行制御を行う電子デバイスであり、機体の姿勢やモーターの回転数などを司る機能を担うものである。このドローンの頭脳にあたるフライトコントローラーを独自開発することで、狭小空間での安定飛行に特化した設定を自由に細かく行うことが可能となり、上記のような挙動をさせることに成功している。

多くのドローンメーカーは、このフライトコントローラーについて市販品やオープンソースのものを採用している。この場合、機体に応じた細かな調整を行うことや、大きく改修して独自性を打ち出したりすることが難しくなる。

### (3) エクステンションアンテナ

当社の狭小空間専用ドローンを飛行させるエリアとして多いのが、天井裏のようにそもそも人が進入できないエリアと、酸欠、墜落、有毒ガス吸引、放射線被曝等の理由で人が進入すると危険なエリアである。

一般的なドローンでは、操縦機と機体との間で直接無線の送受信を行って操縦を行う。この

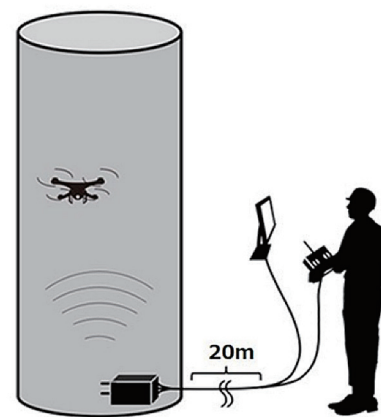


図3 エクステンションアンテナを使った作業のイメージ

方式だと、ドローンを飛行させるために、操縦機を手にした操縦者が危険な閉鎖空間に進入する必要がある。これでは、安全性の面で従来の点検手法と何も変わらない。

この問題を解決するため、当社はエクステンションアンテナを開発した。アンテナ部分(131mm × 272mm × 59mmの箱状)と操縦機は20mのケーブルでつながっており、操縦者は、図3に示すように、アンテナ部分だけを開口部から閉鎖空間に入れ、外側の安全な場所からドローンを操縦することができる。設備点検業務において、このエクステンションアンテナは欠かすことができないものである。

### (4) 超高感度カメラとLED照明

一般的なドローンの場合、上空から高精細



＜市販のドローンカメラ＞



＜当社オリジナルの超高感度カメラ＞

図4 市販のカメラと当社オリジナルカメラで録った画像の違い

な映像を取得することがミッションである。そこでは、カメラ性能について、解像度や分解能といった数値を競う側面がある。

一方、IBIS2では、真っ暗な空間を目視点検の代替として撮影してくることがミッションであるため、暗くてもいかに鮮明な映像を取得できるかが重要なポイントとなる。

このため、IBIS2には、オリジナルの「超高感度カメラ」と「LED照明」を搭載している。超高感度カメラには、暗視カメラに近い性能を有するソニー製イメージセンサーSTSRVISを採用した。また、LED照明（ヘッドライト）は、最大380lm（5段階調光可能）の明るさである。その結果を、市販の一般的なドローンとの比較で図4に示す。

#### （5）粉塵と防滴の対策

「狭い・暗い・汚い」狭小空間は、粉塵が多いところや水しぶきが舞っているようなところが少なくない。このため、IBIS2には、粉塵と防滴の対策を施し、高い防水・防塵性能規格「IP51」相当の性能を持たせた。

中でも、ドローンにとって粉塵は大敵である。一般的なドローンのモーターのほとんどは、プロペラを高速で回転させる際に生じる熱を逃がすため内部のコイルが見えるほどに開放された構造となっている。大空の飛行にはそれで何ら問題がないが、粉塵のある狭小空間では大きな問題となる。実際に、一般的なドローンでは、粉塵がモーター内部のコイ



図5 密閉型防塵モーター

ルの間にまで入り込んでしまい、数回飛行させただけでモーターが故障してしまうケースが頻発している。

当社では、この問題に対応するため、図5に示す、ニデック㈱と共同開発した「密閉型防塵モーター」をIBIS2に採用している。これにより、これまで粉塵が原因でドローンが飛行できなくなったことは一度もない。

#### （6）反転して起き上がることができる「タートルモード」

ドローンは人が操縦するため、操縦ミスといったヒューマンエラーで墜落させてしまう可能性はゼロにできない。万ードローンの機体が墜落してひっくり返ってしまった場合、一般的なドローンは、その時点で帰還できなくなってしまう。IBIS2が飛行する狭小空間は、障害物の数や航行スペースの狭さが桁違いであるため、一般的なドローンと比較しても墜落させてしまうリスクは高い。そこで、IBIS2には、図6に示すように、ひっくり返っ



図6 タートルモード機能で起き上がる IBIS2

た状態から起き上がる「タートルモード」機能を付加している。この機能により100%ではないが、帰還率は飛躍的に向上した。

なお、「タートルモード」は、起き上がる際の支点を「前面」「後面」「右側面」「左側面」の4つの辺から選択することができる。操縦者はひっくり返ってしまった機体の状況を見極めながら起き上がる際の支点を選択し、タートルモードの動作を慎重に実施することになる。

#### (7) 狭小空間専用ドローンの注意点

IBIS2の使用上の注意点は以下の通りである。

##### ① 低い耐風性能

狭小空間を安定的に飛行するための姿勢制御、ギリギリまでの軽量化、実質全周ガードなどの理由から、一般的なドローンよりも耐風性能が低い。

運用にあたっては、風速3m/s以上の風が吹き込んでいる場合には飛行させないルールを設けている。このため、いつ何時突風が吹くか予想できない屋外の飛行には不向きである。

##### ② ドローンの機体とエクステンションアンテナの通信距離

IBIS2に限らず、無線通信で制御・操縦する機器の全てに共通することであるが、見通しが悪くなると、エクステンションアンテナと機体との間で、無線の送受信ができなくなるので注意が必要である。

また、見通しが良くしても、狭い配管内、コンクリートや水で囲まれた空間では電波が減衰しやすく、無線の受信強度には注意深く気を配らなければならない。

なお、エクステンションアンテナと機体の見通しが良い場合は、200m程度は無線の送受信が可能である。

### 3. 電力設備における狭小空間専用ドローンの活用事例

#### (1) 火力発電所・バイオマス発電所

電力設備において、当社の点検実績が一番多いのは、火力発電所（バイオマス発電所を含む）である。

具体的には、「ボイラ内」「サイクロン内」「煙突内」の点検である。特に、ボイラ内では天井付近の二次加熱器周辺は、そもそも点検自体が困難なエリアでもあり、震災時などにおいて、緊急点検を依頼されることが少なくない。

サイクロン内や煙突内の点検についても、足場架設を必要とする従来の点検手法よりも時間と費用がかからないことから、定期的に受注することが多い。点検に要する時間の短縮＝稼働率の向上であるため、機会損失の減少へつながることも、当社の点検サービスが評価されている理由の1つであると考えている。

#### (2) 水力発電所

水力発電所設備では、「サージタンク（調圧

水槽)」点検の実績がある。従来、サージタンク内の点検は難しく、特殊な足場の架設やロープアクセスなどが必要であったが、当社の狭小空間専用ドローンの活用により、費用と時間の面からも日常的な点検が可能になったと評価されている。

この他、「水圧鉄管」内もこの狭小空間専用ドローンによる点検が可能と考えている。

### （３）原子力発電所

原子力規制委員会や東京電力ホールディングス(株)からも発表されているとおり、2024年3月に福島第一原子力発電所における「1号機PCV内部気中調査」を実施し、成功した。東日本大震災以降、初めてペDESTAL内の気中部の撮影に成功し、少なからずメディアにも取り上げられ、エポックメイキングな事例となった。

原子力発電所設備での活用は、まだ緒に就いたばかりで、今後、様々な発電所に対してニーズのヒアリングをしながら、少しずつ活用範囲を広げていけるよう技術開発に取り組んでいきたい。

### （４）風力発電所

風力発電設備での実績はまだないが、当社の狭小空間専用ドローンにより「ブレード内部」の点検を実施できると考えている。プラントのダクト内点検と同様、ブレードを内部から点検することで、外部からの撮影では判別がつかない異常箇所を見つけられる可能性がある。引き続き、風力発電設備メンテナンス会社などとの連携を深めていきたい。

## 4. 最後に～画像処理による3Dデータ生成技術との組み合わせ～

当社では、狭小空間専用ドローンが撮影した動画データを解析・編集し、3D化、点群化、オルソ画像化する業務にも注力しており、近年、この業務への関心が非常に高まってきている。図7に天井裏の点群化、図8に煙突内部の3D化の例を示す。ここで、画像処理には、SfM（Structure from Motion）技術を活用し、動画データから3Dデータを生成している。

点検業務において、これまでの文字や手書きの図を中心とした報告書からドローンの動



図7 天井裏の点群化

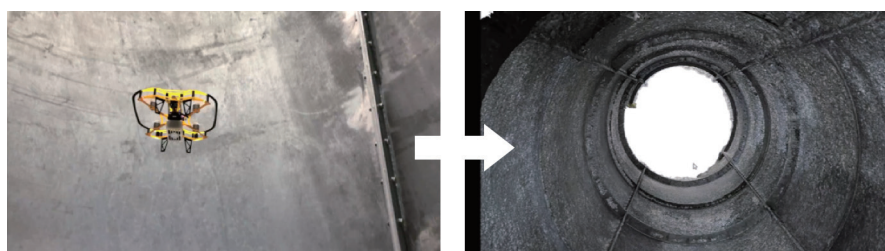


図8 煙突内部を3D化（写真情報入り）

画データのアーカイブへと移行することは、それ自体デジタルトランスフォーメーション（DX）の一步となるが、設備内部の3D化でより一層進んだDXになると考えている。

また、3D化で設備の様子の一覧性が高まるため、定期的に3D化すると経年変化を比較しやすくなる。例えば、正しく計測できるようになったクラックの成長率や設備の歪み率の情報を多く蓄積することは、設備を修繕すべきタイミングの予測精度を高めることにつながっていく。当社の3D化サービスは、製造業、建設業を問わず、時間基準保存（TBM：Time Based Maintenance）から状態基準保存（CBM：Condition Based Maintenance）への移行の推進に貢献できると考えている。

さらに、定期修理のように時期を決めて修繕を行う体制から、必要な時に必要なだけ修繕を小まめに行う体制への変革を進めるには、日常のかつ小まめに点検を行い、修繕時期の予測精度を高める必要がある。

最後に、「狭い・暗い・汚い」狭小空間専用ドローンと画像解析技術の組み合わせがCBMの浸透に一役買うことになればと考えている。今後は、AIによる異常箇所の自動検出技術の組み合わせも含めて、さらなる技術開発に取り組んで行きたい。