

自律飛行型ドローンによる火力発電所煙突内部点検の効率化

森井 祐介

従来の火力発電所における煙突内部点検は、煙突内部にゴンドラ足場を設置して、作業員が目視確認などによって実施しているが、このようなゴンドラによる点検では高所作業による労災リスクがあるとともに、相応の費用と時間が必要となる。そこで煙突内部点検に対応する UAV（無人航空機、以下「ドローン」と呼ぶ）を開発し、点検作業の安全性と効率性の向上を同時に達成する点検手法を確立した。

キーワード：ドローン、火力発電所、鋼製煙突、ライニング点検、効率化、安全性向上

1. はじめに

(1) 背景

産業インフラの安全な事業継続など、産業保安の確保は国民・経済にとって不可欠であり、これまで各事業者は、様々な取り組みを進めてきた。近年は産業保安人材の高齢化、設備の高経年化などの環境変化に直面している。この状況に鑑み、スマート保安、すなわちデジタル技術などを活用することで、現場のメンテナンスなどにおいて、安全を確保しつつ自動化したうえで、遠隔による監視・制御を推進し、現場要員の作業を代替していく取り組みの必要性が益々高まっている。

これらを受け、火力発電所の煙突内部点検に自律飛行型ドローンを活用し、効率性と安全性を向上させる新たな点検システムを開発し運用を開始していることから、本稿ではその概要を紹介する。なお、本内容については、国土交通省などが行う第5回インフラメンテナンス大賞において、取り組みが高く評価され、経済産業大臣賞を受賞した。

(2) 煙突内部点検の現状と課題

火力発電所の煙突の大半は鋼製煙突であり、内部は筒身を保護する目的で、主にセメント系のライニング材が吹付施工されている。このライニング材は排出ガスの熱や酸などの要因により劣化し、筒身を保護する性能が低下する可能性があるため定期的に点検を実施している。

煙突内部点検は、大きく分けて現場調査と調査結果評価の2つの工程で構成されている。従来点検の現場調査は、煙突内部にゴンドラ足場を設置して、ゴンド

ラ上で作業員が目視などで状態を確認している。調査結果評価は、現場調査での点検記録や写真に基づき煙突内部の評価を行っている。このような従来のゴンドラによる点検では相応の費用と時間が必要であるとともに、高所作業や重機作業による労災リスクがある。

2. 開発概要

(1) 煙突内部点検システム

従来のゴンドラによる点検では、前述のとおり点検作業の効率性と安全性において課題がある。そこで、現場調査では自律飛行型ドローンを、調査結果評価では画像処理ソフトウェアをそれぞれ活用した煙突内部点検システムを開発・導入することで、煙突内部点検のプロセス全体の効率化を図った（図-1）。

(2) 自律飛行型ドローン

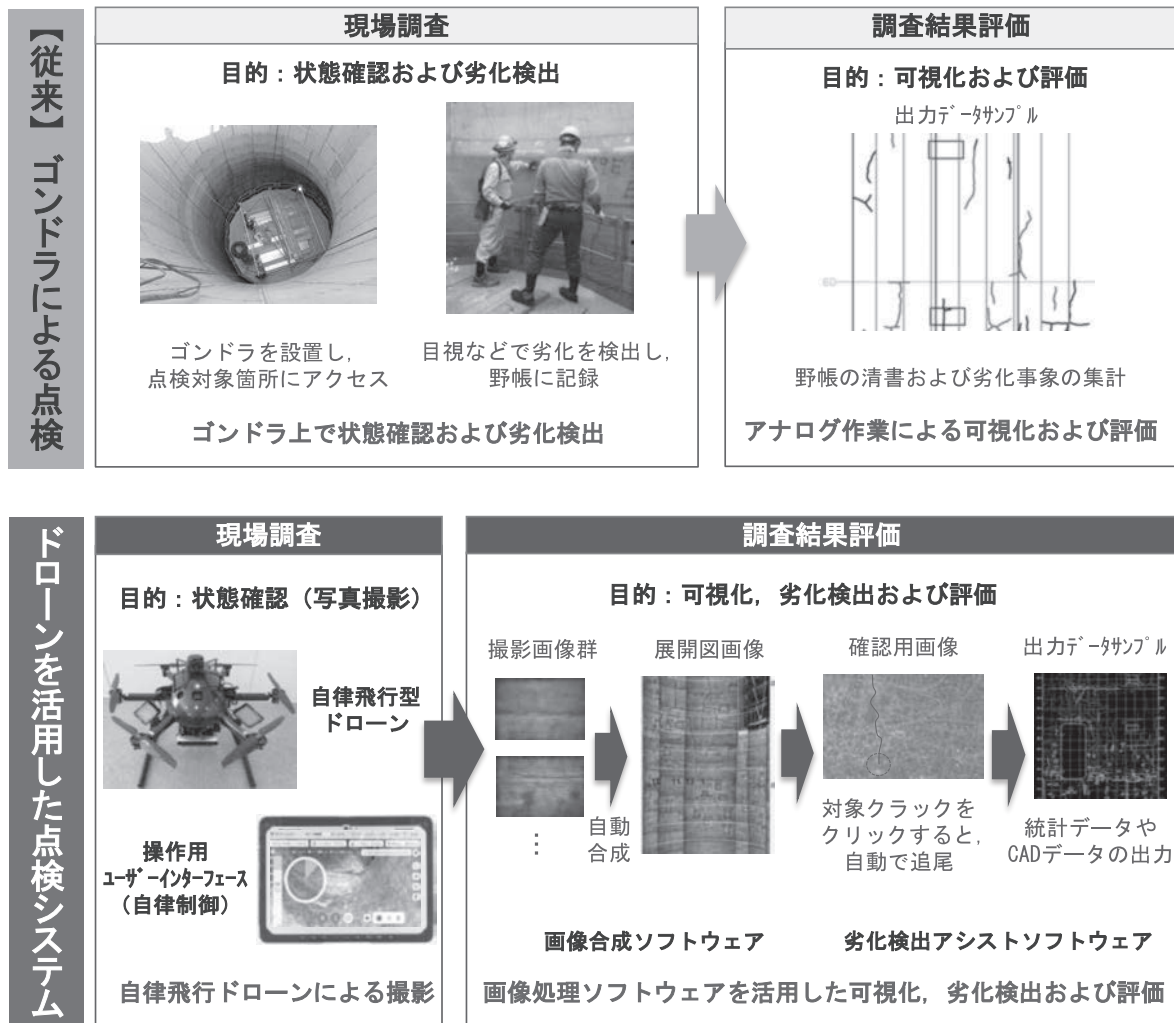
(a) 技術的な課題

煙突内部点検でドローンを活用する場合、煙突内部特有の三つの課題がある。

一点目は煙突内がGPSの届かない閉空間であるため、GPSによる一般的な自己位置推定技術を用いたドローンの制御技術が活用できないこと、二点目は煙突が最大で200m程度の高さを有しており目視でのマニュアル操作が困難であること、三点目は煙突内が一様な景色であり、ドローンが方位を認識できないため、ドローンが撮影した画像の位置特定ができず、点検結果の分析・評価できないことである。

(b) 開発技術

前述の課題を解決するために、後述のセンシング技

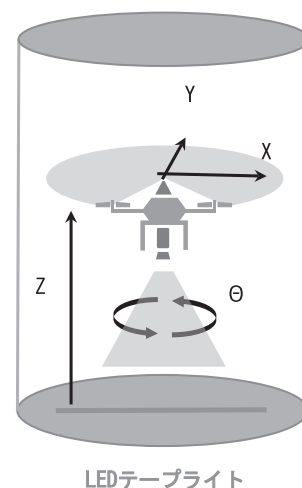


図一 1 ドローンを活用した煙突内部点検システム（従来点検との比較）

術を組合せることで図一 2 に示す水平位置 (X, Y)、高度 (Z)、方位角 (θ) をそれぞれ制御できる独自の自己位置推定技術により、非 GPS 環境下においても安定した自律飛行が可能なドローンを開発した。安定した自律飛行の達成により、撮影した画像の位置特定ができ、点検結果の定量的な分析・評価が可能となる。(特許出願：特願 2020-63862, 特願 2021-60953)

つまり、水平位置 (X, Y) は、光を用いて対象物までの距離を計測する技術である「LiDAR」により全周方向について煙突内壁までの距離を計測することで煙突平面の円中央を保持し、制御する。高度 (Z) は、「気圧センサ」により高度による気圧差を計測することで制御する。方位角 (θ) は、「Visual SLAM」により煙突底部に設置した「LED テープライト」を識別し、テープライトのずれ量 (回転量) を把握することで制御する。

開発したドローンは、長さ 1,117 mm, 幅 1,223 mm, 高さ 654 mm, 重さ 10.6 kg の商用ドローンの機体をベースに、制御用として「Visual SLAM」用のカメ



図一 2 自己位置推定技術概要

ラを 1 台、「LiDAR」を 1 台搭載、点検用として、カメラ 1 台を搭載する (写真一 1)。点検用カメラは、点検の目的に応じて、一眼レフカメラや全天球カメラなどに自由に付け替えることができる。



写真-1 ドローン外観

(c) 点検方法

図-3 にドローンによる点検方法を示す。①ドローンは円中央を保持しながら、一定速度かつ一定の方位角を保ちながら自律飛行で上昇し、煙突内部の周方向のうち一定の範囲を撮影していく。上部までの撮影が完了すると、ドローンは下降する。②ドローンが煙突底部に到達すると、機体を回転させ、異なる範囲（方位角）での撮影を開始する。①、②を繰り返すことにより煙突全周の撮影を行う。なお、上記は一眼レフカメラで撮影する場合であり、全天球カメラの場合は一度の飛行で全周全長の撮影が可能である。

また、煙突内部点検に関するドローンの操作については、専用のユーザーインターフェースを構築している。これにより専門知識がなくても容易にドローンを自律飛行させることができる。

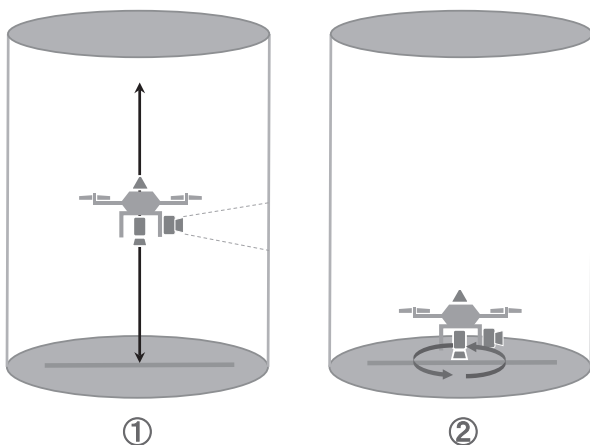


図-3 点検方法

(d) 飛行検証

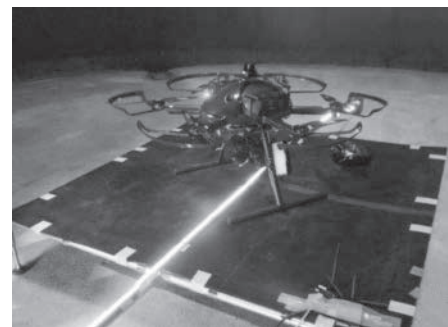
開発したドローンを用いて表-1 に示すすべての地点にて飛行検証を行い、内径、ライニング、燃料種別を問わず、火力発電所煙突の主要な形状に対して適用可能であることを確認した。また、煙突の構造上点検可能な高さ（最大 185 m）までの安定的な自律飛行ならびに煙突全周全長の画像取得を確認した（写真-2）。

(e) 画像検証

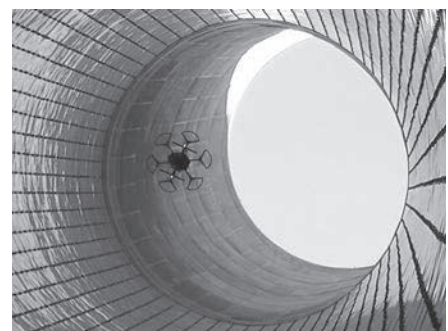
写真-3 に撮影画像から確認することができた不具合の一例を示す。また、従来のゴンドラによる点検では 0.3 mm 幅以上のクラックを目視確認している。そこでドローンに搭載した一眼レフカメラで撮影した画像において、同様のクラックを視認できるか確認を行った。写真-4 に示すとおり、煙突内の壁面にクラックスケールを貼付け、撮影画像の視認性を確認した結

表-1 飛行検証地点一覧

発電所	燃料種別	備考
A 発電所	LNG	・煙突内径：4.65 m ~ 9.0 m ・ライニング種別： セメント系ライニング、 ステンレス内貼
B 発電所	LNG	
C 発電所	重原油	
D 発電所	LNG	
E 発電所	重原油	

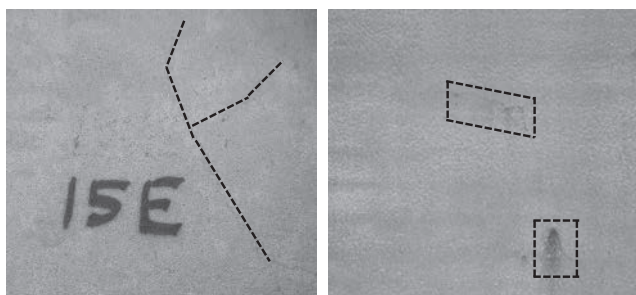


(a) ドローン設置状況



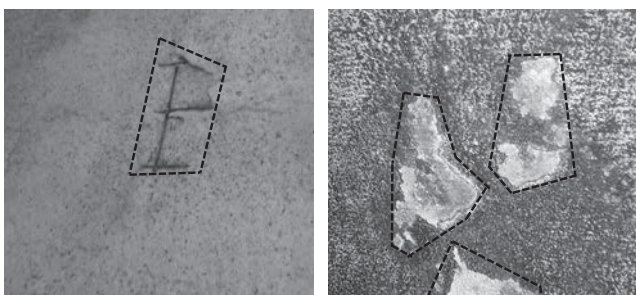
(b) 飛行状況(煙突下部より撮影)

写真-2 飛行検証の状況



(a)クラック

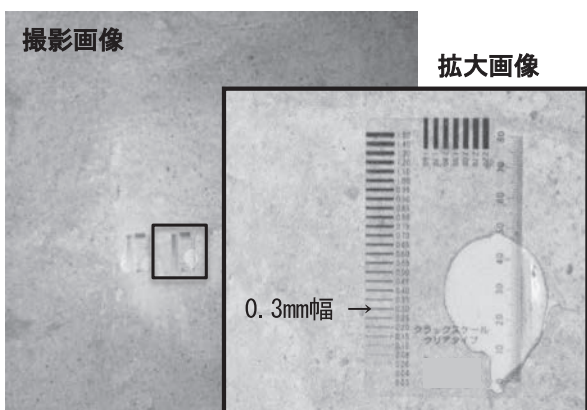
(b)さび汁



(c)鉄筋露出

(d)スマット剥がれ

写真—3 確認できた不具合例



写真—4 撮影画像の視認性

果、0.3 mm 幅のクラックは十分に視認できた。すなわち、ドローンを活用した点検が従来のゴンドラによる目視点検と同等の点検品質を確保できることを確認した。

一方で、全天球カメラは、細かなクラックの検出は困難であるが、ライニング材の剥落など、比較的大きな不具合の検知が容易にできる(写真—5)。したがって一度の飛行で内部状況を網羅的に把握できるため、災害発生時などの緊急時においても迅速な点検が可能である。

(3) 画像処理ソフトウェア

一眼レフカメラによる撮影画像データは、高精度な点検が可能である一方で、一枚の画像では撮影箇所の特定が困難である。撮影画像を画像解析技術により自



写真—5 全天球カメラ撮影画像

動で合成し、一枚の展開図としてデータ化し、クラックを自動追尾することで不具合検出をアシストするソフトウェアを構築した(図—1)。これにより、煙突全面を高精度に点検できるとともに、点検報告書の作成時間を大幅に削減することができる。

3. ドローンの活用による効果

自律飛行型ドローンを活用した煙突内部点検システムによる点検は、従来のゴンドラによる目視点検と同等の品質を確保している。また、ドローンだけではなく、ソフトウェアなどの関連システムを構築し、徹底した効率化を進めたことで、従来のゴンドラによる点検と比較し、現場の点検工期が約90%削減(従来手法:10日程度, 当該手法:1日程度)、点検費用が約50%削減できる。加えて、大規模な仮設が不要となることから、重機作業や高所作業による労働災害リスクを大幅に低減できる。つまり、従来の点検水準を維持しつつ、コスト削減と安全性向上の効果を得ることができる。

4. おわりに

開発した自律飛行型ドローンを活用した煙突内部点検システムを用いた火力発電所煙突点検を表—2に示す地点で2021年度より開始している。また、火力発電所のボイラ内部など他の設備への展開も進めている。今後は他事業者の設備への点検サービスに展開し、スマート保安の実現に向けて、開発したドローンを活用した取り組みをさらに加速させていく。なお、

表—2 点検実施地点一覧

発電所	燃料種別	備考
A 発電所	LNG	・煙突内径: 5.75 m ~ 6.1 m ・ライニング種別:
B 発電所	LNG	
C 発電所	重原油	セメント系ライニング

本研究の一部は、経済産業省の産業保安高度化推進事業の助成を受けて実施したものである。ここに感謝の意を表す。

JCMA



[筆者紹介]
森井 祐介 (もりい ゆうすけ)
関西電力㈱
土木建築室 保全技術グループ

