

プラント保安分野における 目視検査の代替可能性に関する考察 (点検におけるドローン活用について)

2020年3月
経済産業省
総務省消防庁

実証実験の事例

経済産業省委託事業「令和元年度新エネルギー等の保安規制高度化事業」の中で、出光興産株式会社千葉事業所においてドローン活用実証実験を実施した。本実験に関する内容や実験に際してのリスクアセスメント・リスク対策、高圧ガス保安法及び消防法における目視検査の代替可能性に関する考察をまとめたもの。

実証実験の実施概要

実証実験の位置づけ

「平成31年度新エネルギー等の保安規制高度化事業」において、プラント設備内部におけるドローン活用について、特有の課題や条件などのリスクを整理・検討し、安全な運用方法について整理を行った。また、ドローンにより撮影した画像が高圧ガス保安法及び消防法の法定検査（目視）を代替する可能性を検討するため、実証実験を実施した。

概要

休止中の重油タンクにおける設備内部でのドローン飛行を実施した。また、実施にあたっては、ドローンが撮影した画像が法定検査（目視）を代替する可能性を検討するため、タンク内部の溶接線や天井のボルト等の撮影、またタンク内部に設置した腐食した配管のサンプルの撮影を実施した。

日程及び場所

日程：2020年1月29日（水） ※ 2020年1月30日（木）に予備実験を実施

場所：出光興産株式会社 千葉事業所

使用したドローン

屋内空間では狭小空間での使用も想定されるため、今回はFlyability社のELIOS及びELIOS2を使用した。使用したドローンの機能・性能の概要を以下に示す。なお、アセスメント飛行によりELIOS2の方が安定していたことから、詳細な飛行はELIOS2を用いた。

項目	機能・性能(ELIOS/ELIOS2)
サイズ	400mm(球体直径) / 400mm(球体直径)
機体重量	700g / 1450g
最大飛行時間	10分間 / 10分間
耐風性能	3.0m/s / 点検時1.0 m/s(性能上最大5.0m/s)
通信距離	水平500m、鉛直150m / 500m(障害物がない場合)
屋内高度維持	△(気圧計のみによる) / ○(気圧計と各種センサーによる)
障害物検知	× / 下方向なし、水平5方向にセンサーあり
静止画撮影機能	なし / 4000×3000
動画撮影機能	FHD 1920×1080 (160×120) / 4K、FHD1920×1080 (160×120)

ドローンの飛行目的・撮影対象等の選定

【飛行目的】 特殊球体ドローンを用い、非GPS環境及び目視外のマニュアル操縦により、タンク内部を安全にドローンを飛行できるかの確認を行う。
また、取得した画像が、法定検査における目視を代替する可能性について確認を行う。

【撮影対象】 タンク内部の溶接線、天井のボルト等及び、腐食した配管サンプル

ドローン運用事業者とドローンの選定

今回の実験では、プラント等の設備内部における飛行実績を豊富に有しているなど、特にリスク対策を念頭に、信頼性の高いドローン事業者を選定した。また、球体状のカーボン繊維に覆われている、設備内部での飛行に強みを持つ機体を選定した。ただし、狭小空間飛行に適した防塵性やプロテクタを備えていれば、球形ドローン以外の機体も使用可能と考える。

飛行計画の設定

【目的】 タンク内部の溶接線、天井のボルト等及び、腐食した配管サンプルの点検

【撮影方法】 静止画撮影／動画撮影

【撮影対象】 タンク内壁の溶接線、壁面のノズル、天井フレームのボルトおよび溶接部
撮影用に設置したサンプル（腐食した熱交換配管のカットサンプル）

【飛行区域の状態】 爆発性雰囲気を生成する可能性がないエリア

【飛行ルート】 休止中の重油タンク内部

【飛行日時】 2020年1月29日 9:00～16:00

2020年1月30日 9:00～12:00

【実施体制】 操縦者、安全運航管理者、補助者 各1名

（補助者の役割は、自己位置、ドローン・カメラ・照明の角度の指示等）

出光千葉事業所の設備管理担当、保安管理担当各1名

リスクアセスメント

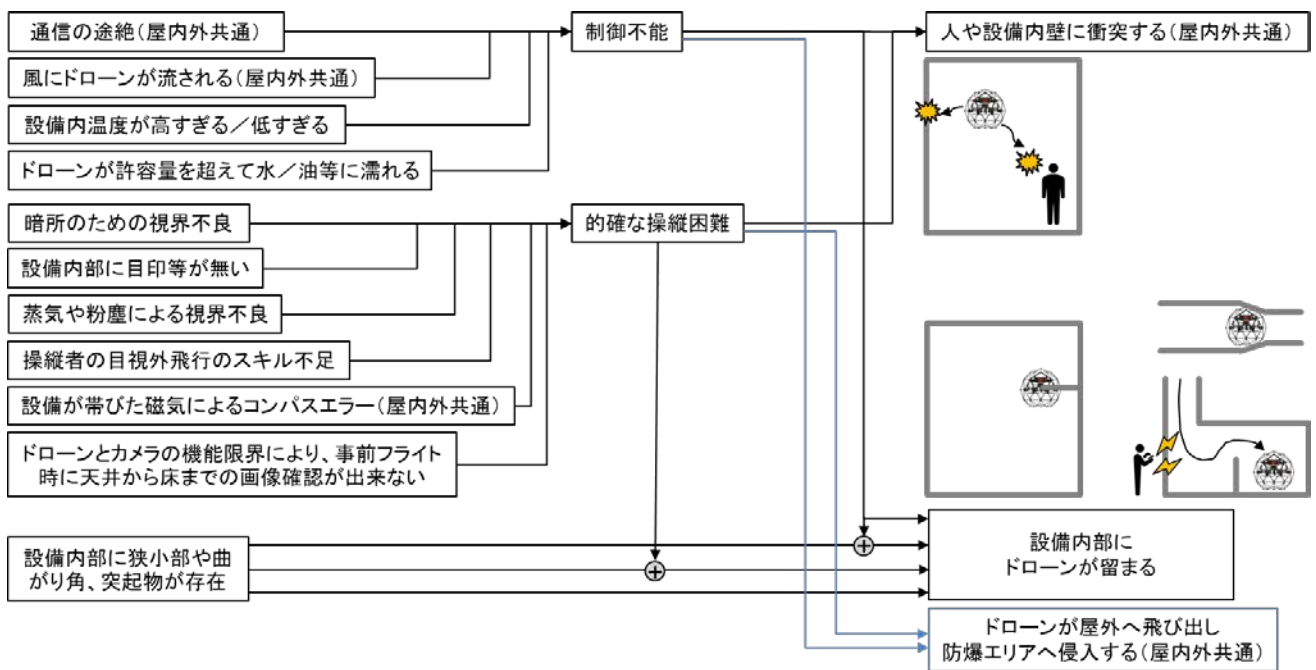
飛行経路の状態が爆発性雰囲気生成する可能性がないエリア並びに発火・燃焼が生じてもこれが拡大・継続しないエリアである点、及び設備内部である点を踏まえ、リスクアセスメントを行った。

1) 想定されるリスク

想定されるリスクは大きく3つであり、ドローンの落下等による人的被害や設備の破損のリスク、及び設備内部にドローンが留まってしまうリスク、並びにドローンが屋外へ飛び出して防爆エリアへ侵入するリスクである。

これらはドローンが制御不能になる、又はドローンを的確に操縦することが難しくなることで引き起こされると考えられる。この制御不能または的確な操縦が困難になる原因について、以下を想定した。

- 通信の途絶
- 悪環境（強風、許容を超える設備内温度、許容量を超える水／油濡れ）
- 自己位置が推定できない（暗所・粉塵等による視界不良、目印が存在しない、コンパスエラー、設備内部状況の事前把握が不十分）
- 操縦者の目視外飛行のスキル不足



想定されるリスクのイベントツリー図

リスクアセスメント（続き）

2) リスク対策

上記リスクアセスメントの分析結果に応じ、以下のリスク対策を取ることとした。

- あらかじめタンク内にレンジエクステンダーを挿入し通信環境を改善。さらにアセスメント飛行中にプロボの電波インジケータで電波状態が良好であることを確認した。
- 事前確認で設備内温度や、許容量を超える水／油濡れがないことを確認した。
- 設備図面にて目印となる物（マンホール等）を事前確認。アセスメント飛行時に粉塵等視界不良の原因となる物がないことを確認。
- 目視外飛行に関する十分なスキルと経験のある操縦者に依頼。

事前協議等の実施

飛行計画について、以下の事前説明・協議等を実施した。

- 製油所内の所内関係部署への事前確認
- 製油所内の防火・消火体制確保の一貫としての所内消防への事前説明
- 管轄消防への飛行計画の説明

なお、今回は屋内（設備内）での飛行であり、機体が施設外へ飛び出すリスクは無いため、所轄警察署、海上保安部等への計画説明は実施しなかったが、施設外へ飛び出すリスクがある場合は事前説明が必要である。

点検等の実施

実験にあたり、ドローンの飛行前・飛行中において、以下の点を確認した。

項目	内容	チェック
機体	全体的に過度な汚れはないか	
	プロペラは緩んでいないか	
	プロペラに割れ欠けがないか	
	モーターに引っかかりは無いか	
	ケージに折れはないか	
	隣り合うケージは強固に固縛されているか	
	LEDライトは点灯するか	
	ジンバル構造に引っかかりは無いか	
	カメラサーボは正常に動くか	
	カメラレンズに汚れはないか	
	S Dカードは挿入されているか/フォーマットされているか	
	各種センサーに汚れはないか	
	センサーバインドは完了しているか	
プロポ	プロポの電池残量は十分か	
	プロポと機体はバインドされているか	
	プロポの操作に潰れや引っかかりはないか	
タブレット	タブレットの充電はされているか	
	キャッシュは削除されているか	
エクステンダー	ケーブルは健全か	
バッテリー	バッテリーはすべて充電されているか	

※なお、機体運用に関する事前確認項目は、使用する機体により異なる。

飛行記録の作成と提出

■ 飛行記録

① 実施日時

2020年1月29日 9:00～16:00

2020年1月30日 9:00～12:00

② 人員

【操縦者】(名前)、【安全運航管理者】(名前)、【補助員】(名前) 計3名

③ 使用機体

Flyability社製 ELIOS ELIOS2

④ 飛行場所

〒299-0192 千葉県市原市姉崎海岸2番地1地内

出光興産株式会社 千葉事業所 ドームルーフタンク

表1.飛行実績

日付	時刻	内容	場所
1月29日	09:54	アセスメント飛行	全体俯瞰
	10:02	アセスメント飛行	天井部
	10:27	スクリーニング飛行	溶接部照明調整
	11:17	アセスメント飛行	タンク出入口
	11:28	スクリーニング目視飛行	タンク内壁溶接線
	11:35	安全措置の検証	タンク内壁
	11:42	安全措置時の挙動確認	タンク内壁
	13:46	詳細飛行	試験体(正面から)
	13:55	詳細飛行	ノズル小
	14:05	詳細飛行	ノズル大
	14:13	詳細飛行	天井部ボルト
	14:50	説明飛行	関係者説明
	14:55	詳細飛行	試験体(斜めから)
	15:33	詳細飛行	溶接線(横)
	15:42	詳細飛行	溶接線(縦)
1月30日	09:01	取材飛行	タンク内壁

実験結果とドローン活用の有効性

実証実験において撮影した、壁面の溶接線、側面下部のノズル、天井部のボルト、腐食した配管サンプルの撮影結果を以下に示す。



壁面の溶接線



タンク底面のノズル



天井のボルト



腐食のテストピース

実験結果とドローン活用の有効性（続き）

1) ドローンで確認出来たこと

- ・溶接線や壁面のスケールの付着・堆積状況の確認
- ・大きな腐食部位や損傷状況の確認
- ・足場を要する高所（例えば天井の通気口内や、骨組みボルト）の劣化状況確認
- ・腐食配管サンプルを撮影し、配管の腐食・穴の有無の確認
- ・暗所でもドローン自身のライトを照射し、視認性を確保して検査が可能

2) 課題

- ・表面状況確認は可能だが、スケールや腐食の下の確認にはケレン作業を要するため、ドローンでは対応できない
- ・現状の目視検査では、スケール量や腐食深さはデブスゲージ等を使用して計測して定量化するが、ドローンでは計測ができない

3) 点検上の注意

・画像撮影においては照明の当て方とカメラの角度が非常に重要である。今回はパイロットと設備点検有資格者がペアになり、同一画面を見ながら有資格者が照明の当て方とカメラの角度等について詳細に指示をして撮影したことで有効な画像が撮影できた。撮影だけ先に行い、後から有資格者が録画画像だけを見て判断するというような使用方法では、有効な画像が撮影できない可能性があるため注意が必要である。

4) 今後の期待

- ・新しい後処理技術として、3Dモデルを構築し、3Dモデル内に点検した画像等を紐付け、画像の保存が可能であるが、今回の実証においては、目視の代替の評価までにとどまっている。
- ・今後、このような新技術を活用し、有効性が高まることが期待される。

目視検査の代替可能性に関する考察

(1) 利点

ドローンの最大の利点としては、足場がないと検査ができない高所の目視検査が可能であるという点である。今回はドームルーフタンクが対象であったが、ドローンが入れる機器や配管（排気ダクト、煙道、煙突、海底配管等）であれば、目視検査の可能性があると考えられる（ただし、途中でドローンが停止・衝突又は落下するリスクへの対策が別途必要）。

(2) 検査の代替

検査の観点では、腐食、摩耗、傷、スケール付着・堆積、破損、割れ、変形・ゆがみ・剥離といった不具合の一次検査には、ドローンの画像による代替が可能と考えられる。

このため、工業用カメラの利用を許容している対象となる設備を拡大すべく、高圧ガス設備の保安検査基準であるKHKS等の関連制度をアップデートしていくことが有効。

また、二次検査となる損傷・腐食・変形の定量評価については、ドローンに計測手段がないため、これらについては、別途目的に沿った検査ツールを民間事業者によるドローンの技術開発や実証等により検討していく必要がある。

(3) 期待効果

足場を設置することなく、高所を目視できることから、煙突、フレアスタック、高所配管等の腐食損傷状況の確認を実施し、本当に必要な箇所のみ足場を組んで検査をするといったスクリーニング検査として活用することで、足場コストの削減の可能性もある。また、腐食の損傷の有無や部位の確認は可能なため、点検業務（特にオフサイトエリアの広大なタンク群、配管）に適用できれば業務の効率化、点検網羅性の向上が期待できる。

(4) 導入・運用の課題

- ・現行のドローンは非防爆機器であるため、防爆規制への対応（使用範囲や時期の限定）
- ・上記を踏まえた上での利用目的の決定及び投資対効果の算出
- ・運用にあたっての要員の確保、飛行する際の社内ルールや要領の制定、各部署の役割の分担等の環境整備