

ドローンを活用した屋外貯蔵タンクの点検方法に関する 調査結果の詳細

本参考資料中の凡例

- 貼付オブジェクトは各技術の段階を示す

開発中

：開発段階であり、実地での実証実験に至っていない

実証実験

：実地での実証実験等による検証は行っているが、運用には至っていない

運用中

：事業者による運用や検査会社等によるサービスが展開されている段階

1. 腐食の定量化技術



腐食の定量化技術（一覧）

| No | 技術名 | 目的・用途 |
|----|---------------------|-------------------------------|
| ① | UTドローン（超音波探傷検査） | ・ 面探傷検査・肉厚検査 |
| ② | コーティングの膜厚測定 | ・ 面探傷検査・肉厚検査 |
| ③ | ポールドローン+渦流探傷検査、打音検査 | ・ 面探傷検査・肉厚検査 ・ 劣化箇所の検知 |
| ④ | 3D写真計測器 | ・ 傷や錆のサイズ測定 |
| ⑤ | LiDAR搭載ドローン | ・ 傷や錆のサイズ測定 ・ 傷や錆の3次元情報の取得 |
| ⑥ | EMAT（電磁超音波） | ・ 面探傷検査・肉厚検査 |

現状、屋外貯蔵タンクにおいて点検作業者が近接して行っている腐食の定量化を代替するドローンに搭載可能な技術は見つからなかった

第1回検討会資料より再掲

①UTドローン（超音波探傷検査）

実証実験

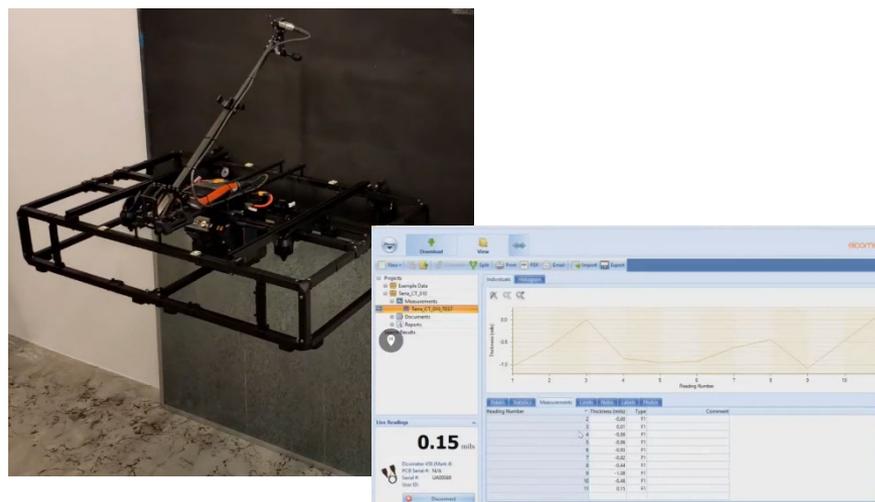
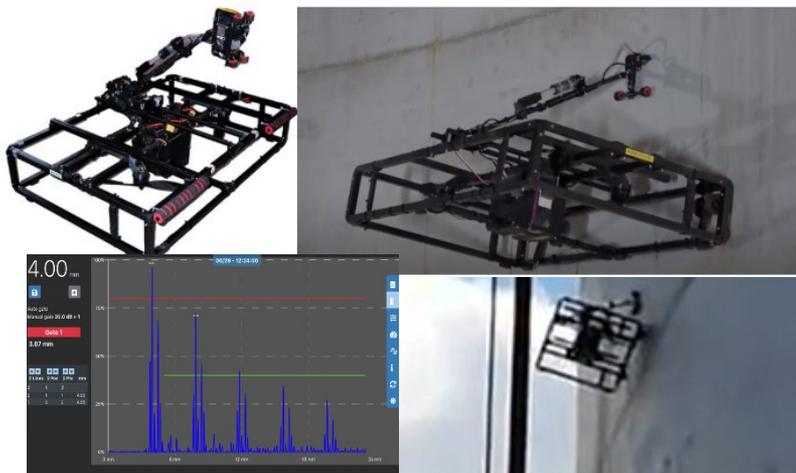
1. 飛行時間：～15分程度/回
2. 測定点：200～300か所程度/日
3. メリット
 - 高所作業の安全性向上
 - 不具合早期発見、コスト低減 等
4. 計測が難しい箇所
 - 障害物付近での計測が困難
 - 余盛のある溶接線近傍
 - 腐食が激しい表面 等

第1回検討会資料より再掲

②コーティングの膜厚測定

実証実験

1. 飛行時間：～15分程度/回
2. 測定点：200～300か所程度/日
3. 計測が難しい箇所
 - 障害物付近での計測が困難
 - 余盛のある溶接線近傍
 - 腐食が激しい表面
4. その他
UTドローンに取り付けるセンサーを変更したもの



出典：厚生労働省 プラント設備等におけるドローンを活用した点検事例集
Terra Drone株式会社、Terra Inspectioneering B.V.

第1回検討会資料より更新

③ポールドローン+渦電流探傷検査、打音検査

運用中

1. 概要：ポールのついたドローンに非破壊検査センサーを搭載し、高所の点検が可能
2. メリット
 - ・ 航空法の規制対象外
 - ・ 「金属製構造物を対象とした減肉調査」や「コンクリート部材を対象とした打音検査」が実施可能
3. その他
 - ・ 高さ10m程度までの対応
 - ・ 橋梁、タンクなどの目視点検、厚さ測定等が対象



コンクリート橋の点検状況例



タンク側板の厚さ測定状況例

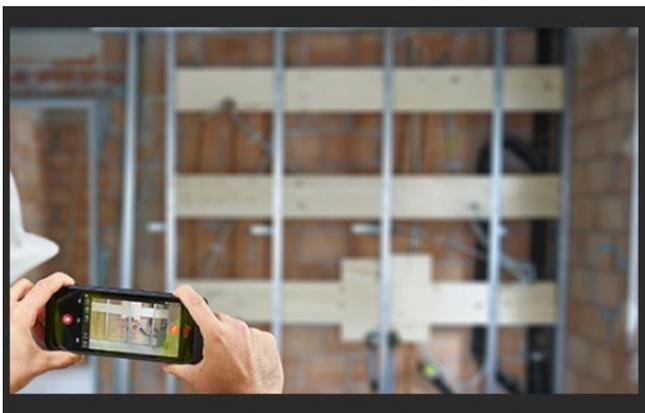
出典：新日本非破壊検査株式会社



④3D写真計測器

運用中

1. 概要：対象物を撮影した写真から幅や奥行きを含む長さをmm単位で測定する
2. メリット
 - 高所での採寸作業にかかる時間が少ない
 - 採寸忘れが起こらない
3. その他
 1. 傷や腐食のサイズを図るためには接写の必要あり
 2. **ドローン搭載には改造が必要**
 3. **振動によるブレが大きく精度に欠ける可能性がある**



出典：株式会社リアルムジャパン

⑤ LiDAR搭載ドローン

運用中

1. 概要：

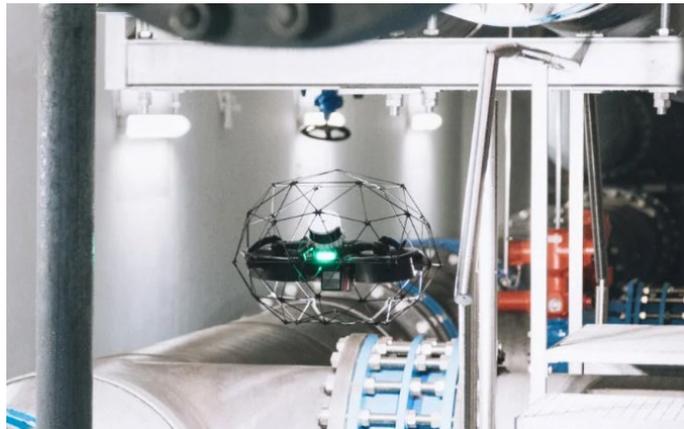
- 照射した数本のレーザー光が物体に当たって跳ね返ってくるまでの時間を計測し、物体までの距離や方向を測定するLiDAR機能により、リアルタイムに3D点群データを取得
- 3D点群データから錆や腐食の形状、サイズを把握

2. メリット

- SLAM(映像認識による自己位置推定技術)技術を搭載のドローンでは、室内や配管内などの非GPS環境かつ人が入れない目視外の空間の点検も可能

3. その他

- 設備内部での作業リスク低下



出典：ブルーイノベーション株式会社

2. ドローンの撮影データの活用・管理方法として 使えそうな技術

ドローンの撮影データの活用・管理方法として使えるような技術（一覧）

| No | 技術名 | 目的・用途 |
|----|---------------------------|--|
| ① | 画像解析による腐食箇所のスクリーニング | <ul style="list-style-type: none">画像スクリーニング |
| ② | 3D化+点検データ管理 | <ul style="list-style-type: none">効率的な点検記録の作成 |
| ③ | 360度パノラマ画像+点検データ管理 | <ul style="list-style-type: none">効率的な点検記録の作成 |
| ④ | 飛行ルート自動作成+点検データ自動管理 | <ul style="list-style-type: none">効率的な点検記録の作成飛行ルート作成の簡易化 |
| ⑤ | 統合プラットフォームやデジタルツインと紐付けた管理 | <ul style="list-style-type: none">効率的な点検記録の作成データ分析・シミュレーション |

① 画像解析による腐食個所のスクリーニング

運用中

第1回検討会資料より再掲

1. 概要：配管向けに構築した画像データの解析による腐食評価システムを屋外貯蔵タンクの撮影画像でも腐食評価に活用できるかを検証
2. メリット
 - ・ 撮影画像を人が判断する負荷が軽減され、効率化
 - ・ 判断者のスキルによらず、一定の判断が可能になる
3. その他
 - ・ 通常のAI画像解析モデル構築には多数のデータと時間を要する為、既存のモデルを活用し、時間とコストを削減して検証



評価結果(裸配管)

| | 評価パターン | A,B | C,D | E,F | 背景 | 平均再現率 |
|-----|--------|-------|-------|-------|------|-------|
| 裸配管 | 6段階 | 91.9% | 81.1% | 77.9% | 100% | 87.7% |
| | 4段階 | — | 91.6% | 87.8% | 100% | 93.1% |



| | 評価パターン | A,B | C | D,E,F | 背景 | 平均再現率 |
|-------|--------|------|-------|-------|-------|-------|
| 保温材配管 | 6段階 | 100% | — | 47.8% | 99.1% | 82.3% |
| | 4段階 | — | 85.2% | 81.0% | 100% | 88.7% |

②フォトグラメトリ（SfM）による3D化+点検データ管理

運用中

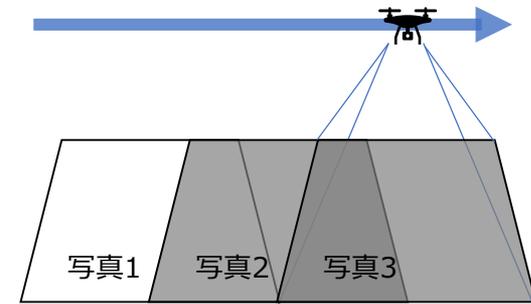
1. 概要：

- ドローンで撮影した複数枚の写真から、SfMソフトを使用して3Dモデルを作成し、点検計画の立案や過去のデータとの比較による劣化の進行具合の確認に活用
- 3D画像上に錆や劣化の詳細画像や点検記録等をリンク

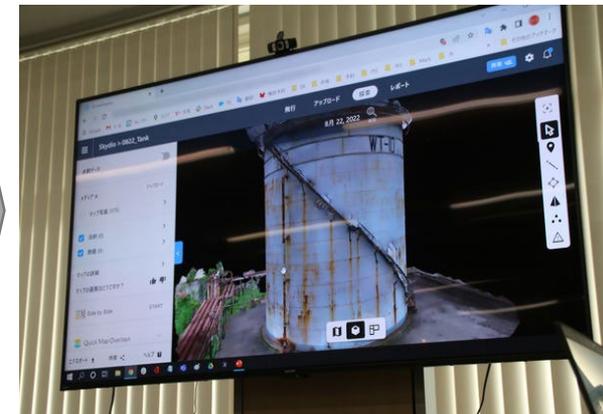
2. その他

- SfMによるタンクの3D化 + 撮影位置の記録を数cm単位の錆の膨らみや形等の状態を確認するのは難しい

【SfM : Structure from Motionの原理】



- 撮影地点を少しずつずらし、複数の視点から撮った写真から3次元構造を復元する



出典：株式会社センシンロボティクス

③360度パノラマ画像+点検データ管理

運用中

1. 概要：

- 360度カメラ：超広角レンズや多数のカメラを使用し、パノラマ画像を作成
- パノラマ画像へ図面や点検記録（画像含）、作業指示等の現場の情報を詳細な位置と紐付けて管理が可能
- 過去画像を紐づけることで、工事や補修の進捗確認や劣化状況等の確認に活用可能

2. その他

- VRと組み合わせれば、離れた場所でも現場にいるように位置関係を直感的に把握・共有が可能
- 360カメラをドローンに搭載して撮影した事例もあり、屋外貯蔵タンクでの撮影も可能

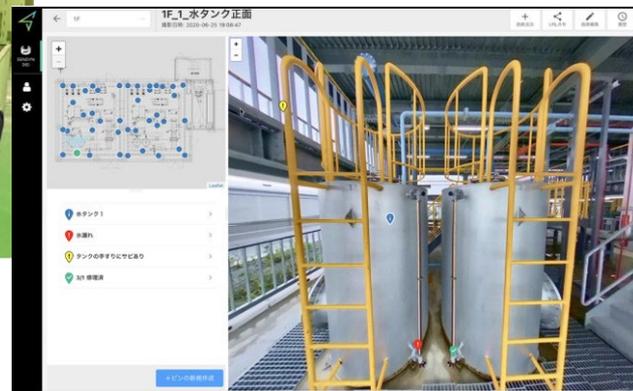
【トンネル内巡視点検への活用(ドローン)】



【VR管理・プラント点検への活用(地上)】



360度カメラを現場に持ち込んで撮影



出典：株式会社センシロボティクス

④ルート自動作成+点検データ自動管理

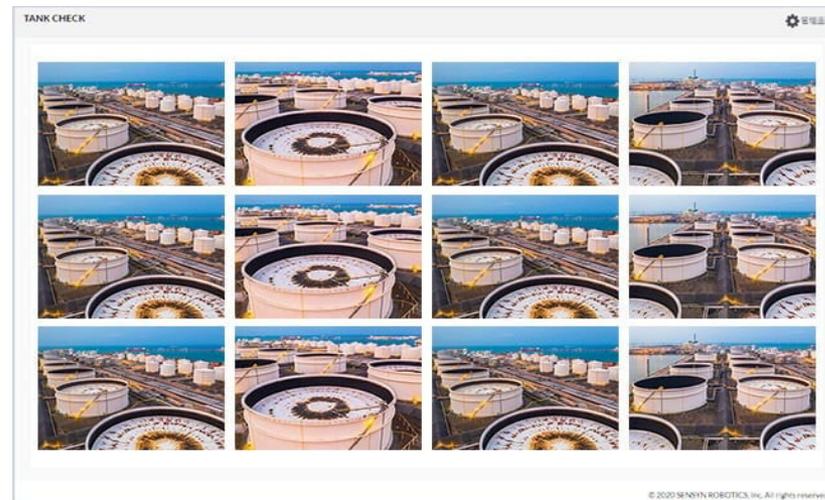
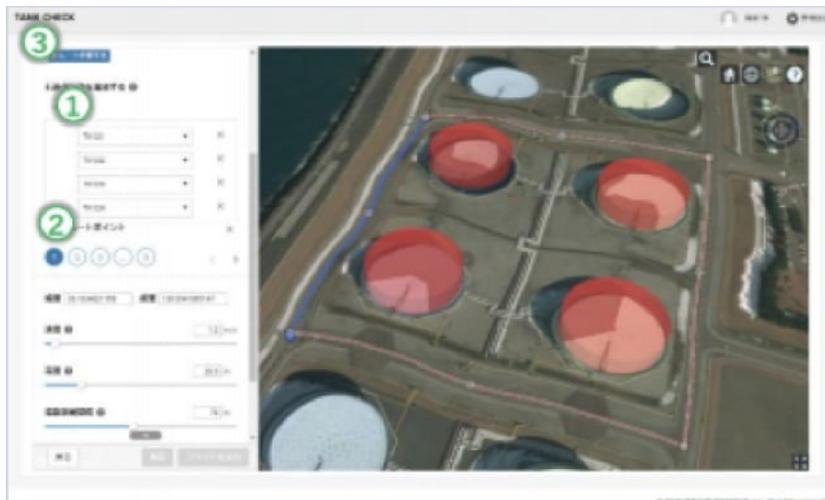
運用中

1. 概要：

- 点検対象の石油タンクを設定し、防爆エリアや上空飛行禁止エリアを考慮して自動で航行ルートを設定
- 撮影データをクラウド上で一元管理し、撮影した写真をタンクごとに自動で振り分け

2. メリット

- 複数アングルに対応し、浮き屋根を死角なく撮影可能
- AIによる錆・腐食の自動検知も可能



出典：株式会社センシンロボティクス

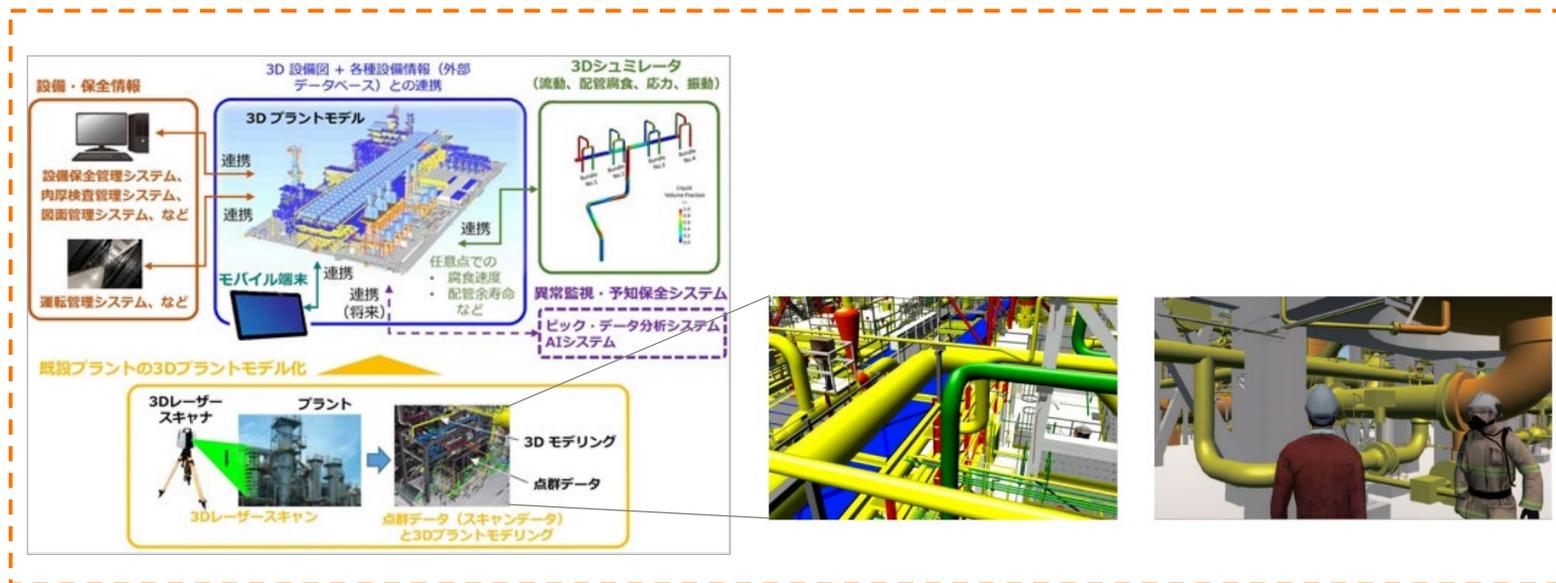
⑤ 統合プラットフォームやデジタルツインと紐付けた管理 ※技術段階は仕様レベルにより様々

概要：

- 保全・検査管理システムや腐食シミュレータと共に、ドローン撮影データを統合運用
- 石油化学プラントの膨大なデータ（蓄積データやリアルタイムデータ）から設備に関する必要な情報を効率よく収集し、位置情報と併せて管理することでデータ分析やシミュレーションへ活用
- 3Dモデル上に表示することで直感的に管理



ドローン撮影データ



出典： http://www.khk-syoubou.or.jp/pdf/magazine/188/gijyutsu_info03.pdf

(参考)

3.既存のドローン飛行における
課題を解決する可能性のある技術

ヒアリング結果から見えた既存のドローン飛行に関する以下の課題を解決する可能性のある技術について紹介する。

既存ドローン飛行の課題とそれを解決する可能性のある技術

| 課題 | 概要 | 技術名 |
|-----------|--|--|
| ネットワーク安定性 | ✓ 飛行場所の無線・ネットワーク環境が不安定となる場合、ドローンの飛行の安定性に影響を及ぼす | ① 無人移動体画像伝送システム |
| バッテリー持続時間 | ✓ ドローンにおいて一般的に利用されるリチウムバッテリーは数十分程度の持続時間となっており、点検の際に一度に飛行させることができる時間やバッテリーの交換回数に対し課題がある | ② 有給配線ドローン ③ 水素燃料電池ドローン ④ SOFC電池ドローン |

中継機を経由することで見通しの悪い山間部や街中の飛行においても、電波状態を向上させ鮮明な画像を取得できる。

ユースケース： UAVの自律飛行による河道閉塞（天然ダム）や砂防施設の調査・点検

- ✓ 2機のUAVの自律飛行により、離陸地点から見通しのきかない崩壊斜面の鮮明な画像を取得
- ✓ 撮影機と中継機を2機同時に併用することで、飛行中に操縦リモコンと撮影機の通信強度を安定させ、レベル3飛行下での自律飛行を行うことができる

実証実験



出典：国土交通省 ドローン活用事例 国土技術政策総合研究所

① MPU5 / 無人移動体画像伝送システム

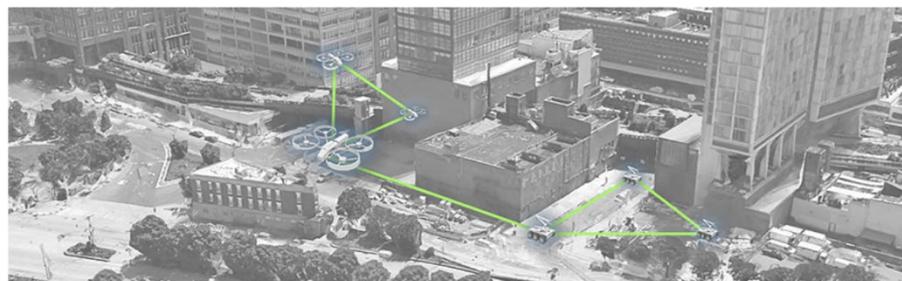
運用中



特徴

- ✓ 5.7GHz帯の無人移動体画像伝送システムとして国内で利用可能な高速データ無線伝送システム
- ✓ ドローン/UAVや地上ロボットに搭載されたカメラの高精度映像の伝送のみならず、ロボット制御の信号の送受信も同時に行うことが可能

■ドローン複数台のAdhocイメージ



出典：ハイテクインター株式会社

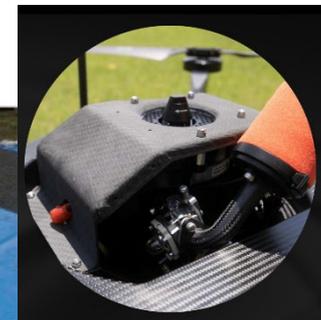
燃料による発電により長時間飛行可能なドローン

② ハイブリッド型ドローン

運用中

特徴・仕様：

- エンジンジェネレーター（発電機）と燃料（ガソリン）を搭載し、必要な電力を供給するため、2時間以上の飛行が可能
- 電圧低下時など補助的に使用するバッテリーも搭載
- 積載重量：4～11kg
- 赤外線カメラやサーチライト、LiDARセンサー、マルチスペクトルカメラ等も搭載可能のため測量や点検にも活用できる
- 機体は完全に国内アSEMBル



調達容易な混合燃料を使用しており、パワーユニットを置き換えることで、水素燃料やバイオ燃料の使用も可能

ユースケース：生活物資を届ける実証実験

- 2018年に国土交通省が行った岡山県山間部に生活物資を届ける実証実験では、2往復約40kmの距離を約2時間連続で飛行
- 2021年の大手カー用品店との共同実証では、病院や薬局から遠く離れた地域での訪問医療で突発的に医薬品が必要となったケースを想定し、ドローンでの即時配送を実施

岡山県和気町での生活物資配送の実証実験

約10km
(往復20km)

START ← 吉井川上空 → GOAL

無給油・バッテリー交換なし、ペイロード2kgで
約40km (2往復) 飛行達成!

※AeroRange1での飛行試験によるものです。

出典：株式会社エアロジーラボ

水素燃料電池により1.5時間の飛行が可能なドローン

海外事例

③水素燃料電池ドローン

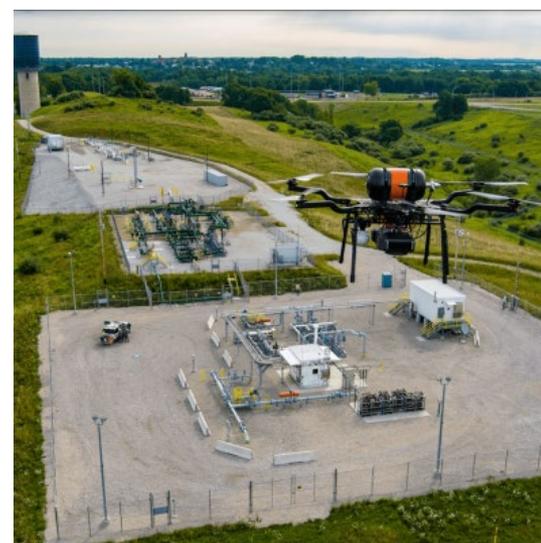
運用中

特徴/仕様：

- 水素燃料電池により飛行（通常の充電電池も装着可能）
- **5kgのペイロードで1.5時間の飛行が可能（ペイロードなしで2時間）**
- 最大ペイロード5kg
- 燃料費 \$ 10~20/飛行時間
- ペイロードにはLiDARセンサー、赤外線カメラ、高解像度カメラ、ハイパースペクトルカメラ、マルチスペクトルカメラを持つ

ユースケース：石油パイプライン監視

- ✓ アメリカ北東部でのパイプライン検査に水素燃料電池ドローンを採用
- ✓ 連続飛行時間が長く、従来のドローンより広範囲の検査を効率化
- ✓ 低騒音
- ✓ ゼロエミッション
- ✓ 燃料電池はIE-SOAR™ 2.4kW（Intelligent Energy社）



出典：HARRIS AERIAL（アメリカ）

固体酸化物型燃料電池(SOFC)は水素だけではなくLPGやエタノールを燃料にでき、通常の電池よりも長時間の飛行を可能とする

④ SOFC電池ドローン

実証実験

特徴/仕様：

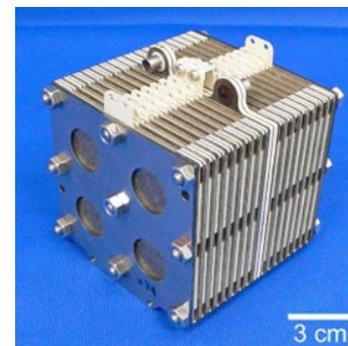
- 水素だけではなくLPGやエタノール、メタン、一酸化炭素等を燃料にすることができるため、水素燃料電池のボトルネックとなる水素供給課題をクリアできる可能性がある
- 飛行試験により**1時間以上の飛行**が見通される結果を得ている
- 作動温度が高いため、起動に時間を要することが課題の1つ



飛行試験中のSOFCドローン



従来のドローンとSOFCドローンの電力供給の模式図



ドローン搭載用SOFCスタック外観

◆**固体酸化物形燃料電池(SOFC)**
ジルコニア(ZrO_2)やセリア(CeO_2)などの固体酸化物(セラミックス)を電解質に用いた燃料電池。一般的に $650\sim 800\text{ }^\circ\text{C}$ の高温で作動し、各種燃料電池の中で最も高い発電効率が期待されている。電解質内を酸化物イオン(O^{2-})が伝導するため、原理的には水素だけでなくプロパン(C_3H_8)やブタン(C_4H_{10})などの炭化水素も燃料として用いることができる。SOFCはSolid Oxide Fuel Cellの略

出典：産総研 2020/06/15プレスリリース記事

(参考)

4. その他技術



その他の新技術（一覧）

| No | 技術名 | 目的・用途 |
|----|-----------------------|---------------|
| ① | 赤外線カメラでの劣化箇所予測 | • 劣化箇所の検知 |
| ② | 赤外線カメラ搭載ドローンによるガス漏れ検知 | • 油漏れ・ガス漏れの検知 |
| ③ | 吹き付けドローン | • 塗装作業 |
| ④ | ドローン+外壁吸着ロボット | • 塗装・舗装作業 |

第1回検討会資料より再掲

①赤外線カメラでの劣化箇所予測 運用中

1. 概要：搭載した赤外線サーモカメラでタンクの撮影を行い、温度分布からタンクの損傷状況を調査
2. メリット
 - ・ 目視では判断できない情報を把握可能
 - ・ 腐食などによるタンクの塗装の浮き・剥離などを調査可能
 - ・ 比較的一般的なセンサーであり、対応できる会社が多数存在
3. その他
 - ・ ビルや病院などの外壁調査では、建築基準法の制度改正により有効な点検方法として活用中
 - ・ 建物外壁と屋外貯蔵タンクでは素材が異なるため、温度変化がどのように出るかは要確認

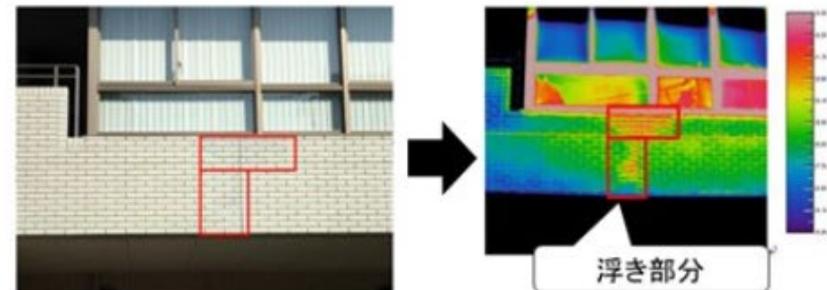
【無人航空機による赤外線調査導入による効果】



約4割のコスト削減効果(モデル建物における試算より)

出典：国土交通省 定期報告制度における外壁のタイル等の調査について

【赤外線調査の概要】



タイル壁面の温度差を赤外線装置で測定し、浮き部分を検出
(外壁タイルが日射によって御温められると、浮き部分は健全部分と比べてタイル面の温度が高くなる現象を利用)

②赤外線カメラ搭載ドローンによるガス漏れ検知

運用中

1. 概要：

- 赤外線吸収を可視化することで、目視では確認できないメタンやプロパンなどの無色透明な炭化水素系ガスの漏れを上空からカメラで検知

2. メリット

- 吸引式ガス検知器ではなく赤外線ガス検知カメラを用いるため、ドローンが爆発混合気体発生エリアへ接近することなく検知可能

3. その他

- 可視化の対象となる各ガスのスペクトル吸収に適したフィルタが備えられたモデルの選定が必要

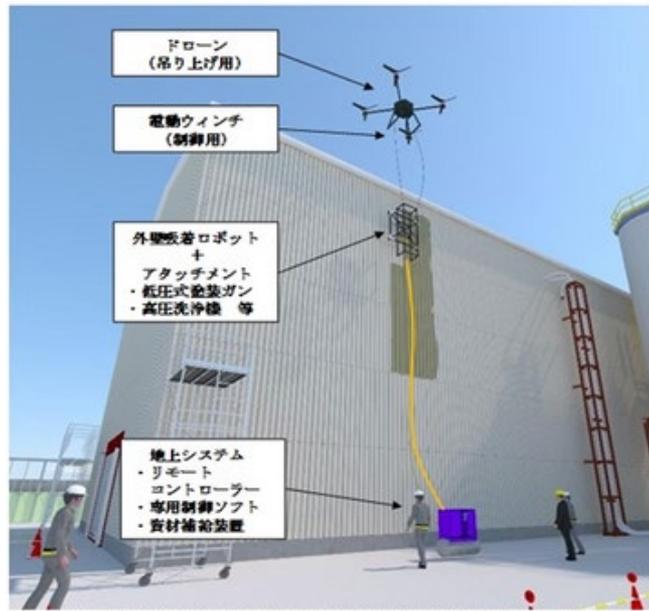


出典：株式会社アイ・アール・システム

③ドローン + 外壁吸着ロボット 運用中

1. 概要：

- 上空に静止させたドローンから電動ウインチで外壁吸着ロボットを吊り上げ、外壁吸着ロボットに特殊なデバイスを搭載して高圧洗浄や塗装を行う
- ドローンの挙動と電動ウインチの巻き上げスピード、吹付スピードや塗料の粘度等をすり合わせて精密制御



「ドローン壁面補修」(※)の概要、日本製鉄株式会社、日鉄テックスエンジニアリング株式会社との共同研究プレスリリース時の画像より。