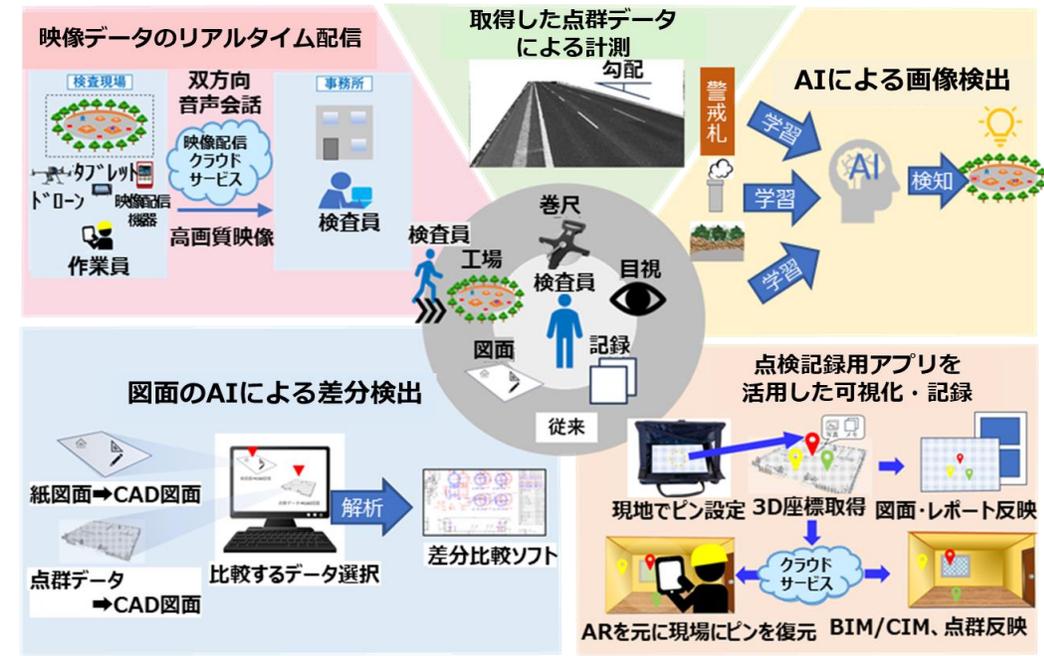


【類型9 株式会社ミラテクトローン】技術実証 最終報告サマリー

【技術実証の概要】

対象業務（法令）	火薬類取締法施行規則第44条及び第44条の5の検査方法に従って行う火薬類製造施設・火薬庫の安全措置（表示、設置状況、爆発など防止措置）などの完成検査・保安検査
実証の全体像	<p>火薬製造施設や火薬庫の完成検査や保安検査に関し、様々なデジタル技術を活用することによって、目視や巻尺などを使っている検査手法を現地等に赴かずに実施することが可能かを検証した。</p> <p>具体的には、検査対象のデータの取得、取得したデータの活用、データの記録・管理の3つの過程と検査対象に応じて、以下①～⑤の実証を実施した。実証にあたっては、検査の精度とともに、効率的で安全な検査が可能か、人材や労力の節約、品質向上、エラーやミスの低減可否についても検証した。</p> <ol style="list-style-type: none"> ①映像データのリアルタイム配信 ドローンやiPad等で取得した映像を検査員がいる遠隔の事務所へリアルタイム配信して検査員が確認 ②取得した点群データによる計測 ドローン搭載・地上型レーザスキャナ等で取得した点群データから三次元データを作成し、勾配や寸法等を計測 ③AIによる画像検出 ドローンやiPad等で取得した静止画像・動画画像から設備などの有無等のAI検知結果を検査員が確認 ④図面のAIによる差分検出 ドローン搭載・地上型レーザスキャナ等で取得した点群データからCAD図面を作成し、既存の図面との差分をAIで検知して検査員が確認 ⑤点検記録用アプリを活用した可視化・記録 iPad搭載レーザスキャナ等で取得した点群データから、点検アプリでiPad等に取り込んだ紙図面から作成したCAD図面上に計測結果等のメモや静止画データを登録しクラウド上にアップロードして遠隔にいる検査員が確認

＜実証の全体像＞



【類型9 株式会社ミラテクトローン】技術実証 最終報告サマリー

【技術実証の概要】

実施体制	株式会社ミラテクトローン（実証事業者） シアープ株式会社（再委託先） 株式会社キャディアン（再委託先） アンリツ株式会社（再委託先） 株式会社LAI（再委託先） 有限会社フーチャーネット（再委託先） 火薬メーカー（実証場所提供） 日本火薬工業会（アドバイザー）	技術実証事業の運営、コンサルティング、実証の実施 画像AI解析作業および分析・評価、AI解析に関する技術実証報告書作成 紙図面あるいは点群データからの2Dおよび3D図面の作成 ドローンとプロポ（送信機）間の電波強度測定、電波測定結果に関する技術実証報告書の作成 リアルタイム伝送システムの利用、技術実証全体に係る助言および稼働支援 仮設設備配線工事（警報線設置・撤去） 施設（爆発などの危険性の無い）類似施設を提供 火薬メーカーとの連携支援、対象法令に係る知識提供や技術実証の評価・検証などのアドバイス																																																																																																																				
実施期間	2023年11月7日～2024年2月29日。実施工程は以下の通りである。 <table border="1" data-bbox="741 796 1946 1290"> <thead> <tr> <th rowspan="2">作業名</th> <th colspan="3">11月</th> <th colspan="3">12月</th> <th colspan="3">1月</th> <th colspan="3">2月</th> </tr> <tr> <th>上旬</th> <th>中旬</th> <th>下旬</th> <th>上旬</th> <th>中旬</th> <th>下旬</th> <th>上旬</th> <th>中旬</th> <th>下旬</th> <th>上旬</th> <th>中旬</th> <th>下旬</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>計画策定</td> <td>■</td> <td></td> </tr> <tr> <td>機材準備</td> <td>■</td> <td>■</td> <td>■</td> <td>■</td> <td>■</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>現地確認</td> <td></td> <td></td> <td>■</td> <td>■</td> <td>■</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>モックアップ設置</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>■</td> <td>■</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>実証</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>■</td> <td>■</td> <td>■</td> <td>■</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>解析</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>■</td> <td>■</td> <td>■</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>実証結果の 取りまとめ</td> <td></td> <td></td> <td>■</td> </tr> </tbody> </table>		作業名	11月			12月			1月			2月			上旬	中旬	下旬	計画策定	■												機材準備	■	■	■	■	■	■							現地確認			■	■	■	■							モックアップ設置							■	■	■				実証					■	■	■	■	■				解析							■	■	■	■			実証結果の 取りまとめ			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
作業名	11月			12月			1月			2月																																																																																																												
	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬																																																																																																										
計画策定	■																																																																																																																					
機材準備	■	■	■	■	■	■																																																																																																																
現地確認			■	■	■	■																																																																																																																
モックアップ設置							■	■	■																																																																																																													
実証					■	■	■	■	■																																																																																																													
解析							■	■	■	■																																																																																																												
実証結果の 取りまとめ			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																																																																																																										

【類型9 株式会社ミラテクトローン】技術実証 最終報告サマリー

【技術実証内容の詳細】

技術実証の方法 【1/4】	技術実証項目	実証内容
	<p>①リアルタイム配信</p>	<p>■ 実証の詳細 リアルタイム配信による遠隔地からの検査可否を検証するにあたって、次の2パターンの手法で実証した。 1) ドローンに搭載したカメラによって取得した施設外観や施設周辺の映像データを遠隔地の検査員にリアルタイム配信し、遠隔から検査を行うことができるかを確認した。 2) タブレット内蔵のカメラにより取得した施設近傍や施設内の映像データを遠隔地の検査員にリアルタイム配信し、遠隔から検査を行うことができるかを確認した。</p> <p>映像データをリアルタイムで送信するための通信手段（モバイルデータ、Wi-Fiなど）を確保するにあたって、キャリアSIM（モバイルデータ）を活用した。また、ドローンは、危険区域上空や近傍を飛行できないため、遠方からのズーム撮影を行うこととし、ズーム倍率や撮影高度を変更した複数パターンによって検査できる対象の差異や精度への影響も確認した。</p>
	<p>■ 活用した技術・機器</p> <ul style="list-style-type: none"> ドローン（DJI：Matrice300 RTK） ドローン搭載用カメラ（DJI：Zenmuse H20T） タブレット（Apple：iPad Pro） 配信システム（ソリトンシステムズ：Zao-s、Zao Cloud View） 	

【類型9 株式会社ミラテクトローン】技術実証 最終報告サマリー

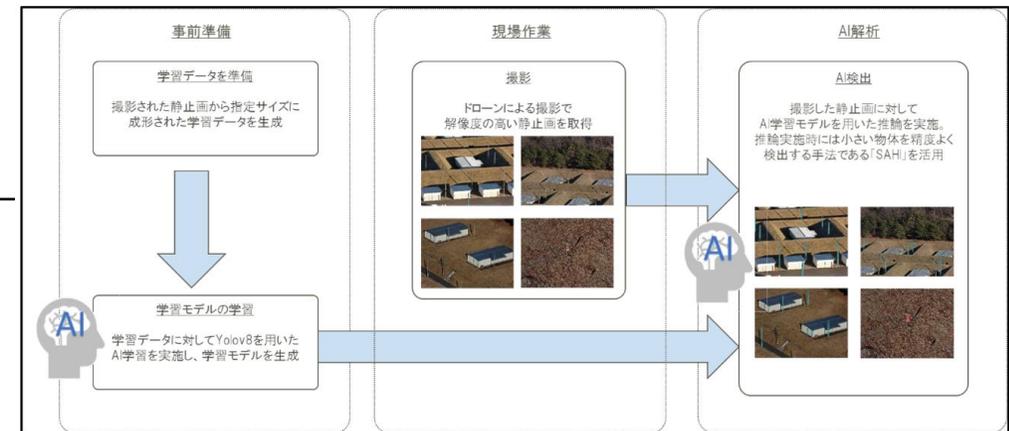
【技術実証内容の詳細】

技術実証の方法	技術実証項目	実証内容
【2/4】	②点群データによる計測	<p>■ 実証の詳細 点群データによる計測が適用可能かを確認するにあたって、次の3つの実証を行った。</p> <p>1) <u>ドローン搭載レーザスキャナによる点群データの取得</u> 火薬類取扱施設等の直上を飛行できないという制約の中で、ドローンに搭載したLiDAR機器を使用し、火薬類取扱施設等の点群データを取得した。</p> <p>2) <u>携帯型・地上型レーザスキャナによる点群データの取得</u> ドローンがアクセスできない箇所や制約のある領域を特定し、携帯型や地上型のレーザスキャナを用いてデータを取得する。アクセスが可能な範囲で携帯型レーザスキャナを使用し、建屋や外観、建屋内部の表示、壁面、配置の点群データを取得した。</p> <p>3) <u>取得した点群データによる距離・勾配の計測</u> 1)及び2)に基づき、ドローン搭載または携帯型・地上型レーザスキャナにより取得した点群データから、空地や土堤の距離測定や道路・土堤の勾配などの計測を行った。</p> <p>■ 活用した技術・機器</p> <ul style="list-style-type: none">・ドローン (DJI : Matrice300 RTK)・ドローン搭載用レーザスキャナ (DJI : Zenmuse L1)・タブレット (Apple : iPad Pro、エム・ソフト : デジスキャン)・地上型レーザスキャナ (FARO : Focus Laser Scanner S350)・点群計測システム (福井コンピュータ : TREND-POINT)

【技術実証内容の詳細】

技術実証の方法 【3/4】	技術実証項目	実証内容
	③AIによる画像検出	<p>■ 実証の詳細 火薬類取扱施設等の全体を網羅する静止画を取得し、静止画内に写っている検査対象の種類および個数をAIの画像検出にて確認した。 AI画像検出に用いる学習モデルは一般的に「教師あり学習モデル」と「教師なし学習モデル」に大別される。このため、AI画像検出にて検出対象としている物体は、既に形状が定まったものである。このため、画像検出におけるAI学習では、類似形状の画像データを用いたAI学習が実施可能な「教師あり学習モデル」を採用することとし、以下(a)および(b)に示す2種類の学習モデルを作成し、検証を実施した。検証にあたっては、本技術実証項目において作成した学習モデルと、既存の学習モデル（Yolov8等）との検出精度を比較した。 (a)一般データ（汎用的なデータセット）からの学習モデル (b)現場データ（実証場所で取得した画像データ）からの学習モデル</p> <p>(a)、(b)ともに、右図に示す実施フローにて、学習モデルを生成し、AI画像検出を実施した。対象物の検出にあたっては、対象物に応じた色の矩形が画像上に描画される。</p> <p>■ 活用した技術・機器</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ドローン（DJI：Matrice300 RTK） ・ドローン搭載用カメラ（DJI：Zenmuse H20T） ・AI画像検出(Yolov8、SAHI)

＜画像検出の実施フロー＞



【類型9 株式会社ミラテクトローン】技術実証 最終報告サマリー

【技術実証内容の詳細】

技術実証の方法	技術実証項目	実証内容
【4/4】	④ 図面のAI差分解析	<p>■ 実証の詳細</p> <p>紙図面やレーザスキャナで取得した点群データから、2次元、3次元の電子図面を作成した。このようにして電子化した2次元図面、3次元図面をAI差分解析用のソフトウェアを用いて比較・判別した。既存設備からの変更点や新規での追加／撤去箇所が瞬時に判断ができるため、図面を用いた検査項目での効率化につながるかを確認した。</p>
		<p>■ 活用した技術・機器</p> <ul style="list-style-type: none">・2次元図面作成ソフトウェア（Autodesk：AutoCAD）・3次元図面作成ソフトウェア（Autodesk：Revit）・AI差分解析システム（TRIART：MIIDEL7）
	⑤ 点検記録アプリによる可視化	<p>■ 実証の詳細</p> <p>電子図面化した紙資料や点群データを点検記録アプリより可視化表示するとともに、点検箇所のリスト化や点検結果の記録を自動作成した。可視化表示と点検箇所リスト化・記録作成で2種類のアプリPinspectとPinspect Check+を用いた。これらのアプリでの表示データや記録をクラウド保管することで、遠隔地で検査場所、検査内容、検査結果等を確認した。</p>
		<p>■ 活用した技術・機器</p> <ul style="list-style-type: none">・点検記録アプリ（エム・ソフト：Pinspect、エム・ソフト：Pinspect Check+）

【技術実証内容の詳細】

実証場所① 火薬メーカー工場

ア)危険工室の類似施設：危険工室

実施項目：手持ちカメラ映像配信/屋内の静止画取得及びクラウド共有
手持ちカメラ等による静止画・点群データ取得/屋内の静止画・点群データ取得
AI解析/点群データによる計測

実施期間：3日

イ)火薬庫の類似施設：火薬類一時置場（屋外のみ）

実施項目：手持ちカメラ映像配信/手持ちカメラ等による静止画・点群データ取得
AI解析/点群データによる計測

実施期間：1日

ウ)土提類似施設：試験場

実施項目：ドローン映像配信/手持ちカメラ映像配信/ドローン静止画・点群データ取得
手持ちカメラ等による静止画・点群/データ取得/AI解析
点群データによる計測

実施期間：1.5日

エ)工場敷地外周（比較的安全なエリア）

実施項目：ドローン映像配信/ドローン静止画、点群データ取得/AI解析

実施期間：2.5日



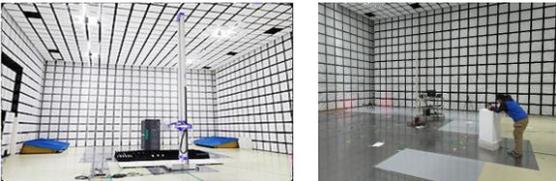
【類型9 株式会社ミラテクトローン】技術実証 最終報告サマリー

【技術実証内容の詳細】

実証場所②	奈良市内フィールド（レンタル2級火薬庫）
<p>実施項目：手持ちカメラ映像配信/屋内の静止画取得及びクラウド共有 手持ちカメラ等による静止画・点群データ取得 屋内の静止画・点群データ取得/点群データによる計測</p> <p>実施期間：3日</p>	
	
実証場所③	(株)新宇商店（火工所、火薬類取扱所）
<p>実施項目：手持ちカメラ等による静止画・点群データ取得 屋内の静止画・点群データ取得/点群データによる計測</p> <p>実施期間：1日</p>	
	
実証場所④	能勢高原ドローンフィールド
<p>実施項目：ドローン静止画・点群データ取得 手持ちカメラ等による静止画・点群データ取得/AI解析 点群データによる計測</p> <p>実施期間：3日</p>	
	

【類型9 株式会社ミラテクトローン】技術実証 最終報告サマリー

【技術実証内容の詳細】

実証場所⑤	(株)ミライト・ワン 池袋技術センタ
<p>実施項目：手持ちカメラ等による静止画・点群データ取得 屋内の静止画・点群データ取得 点群データによる計測</p> <p>実施期間：1日</p>	
	
実証場所⑥	アンリツカスタマーサポート(株)厚木テクノオフィス 1号電波暗室
<p>実施項目：電波強度測定 (ドローンの飛行を伴う実証項目に際して、操縦装置から発する電波が火工品に影響を与えないことを確認するため、電波暗室を用いて電波強度の測定を行った)</p> <p>実施期間：2日</p>	
	

【技術実証内容の詳細】

実施条件

本技術実証では、複数の計測機器を用いて実証を行ったが、現在は火薬類を扱っている工場への一般的なデジタル機器の持ち込みが認められていないことや防爆仕様かつ火薬工場への持ち込みが可能な汎用的な製品が流通していないことから、火薬などによる爆発の可能性がない場所を実施することを前提としており、活用する機材においても防爆仕様などの制限は設けないものとした。

また、火薬類製造施設は実際に火薬類の取扱いがある場所ではあるが、本技術実証で使用する施設では、火薬が残置されていないことや火薬を持ち込むことの無い日程に限定することで実証を行った。

さらに、ドローンを使用した作業では、実際の火薬工場の敷地内で作業を行うが、万が一、墜落などの事故が発生した場合においても、爆発の危険性のある危険区域内に墜落する可能性がない離隔距離を確保することを前提として作業を行った。このほか航空法等も踏まえた、ドローンを使用した作業における実施条件は以下のとおりである。

- ・施設管理者に飛行方法や範囲を伝え、許可を得た上で飛行させる。
- ・当初計画から変更があった場合は事前に施設管理者と協議を行う。
- ・ドローンの飛行に関しては、国土交通省航空局の許可・承認を得る。
- ・ドローンの飛行のルールは、「国土交通省航空局標準マニュアル」に沿う。
- ・ドローンの飛行高度は禁止空域の関係から150mまでに制限する。

【類型9 株式会社ミラテクトローン】技術実証 最終報告サマリー

【実証の結果】

結果の評価 の観点	各実証項目の評価にあたっては、以下の(1)～(5)の観点から総合的に評価した。なお、各実証項目については、活用する技術の特性等に応じて、対象とする検査項目も異なっており、その前提で評価を行った。 (1)精度、(2)安全性、(3)信頼性、(4)工数、(5)コスト
結果の評価 のポイント・ 方法 【1/2】	①リアルタイム配信 (1) 精度：リアルタイムで配信する映像について、遠隔地の検査員による検査項目の確認が可能な品質となっているかで判断する。 (2) 安全性：ドローン墜落時のリスク低減策とし、落下予測範囲を試算することにより危険区域内に墜落する可能性が無いことを確認する。また、ドローンおよび操縦装置が発する電波の強度を計測し、電子雷管の起爆につながる危険性のある電波強度を確認する。携帯型カメラについては、防爆仕様の対応可能性も確認する。 (3) 信頼性：撮影データがロストすることなく遠隔地に伝送されていることを確認する。また、伝送遅延による現地の撮影者と遠隔地の検査員のコミュニケーションに支障が出ないことを確認する。さらに、リアルタイムで配信・投影している場所が間違いなく検査対象場所であるか（場所の真正性）を確認できるかも評価する。 (4) 工数・(5)コスト：従来手法をヒアリングし、リアルタイム配信によって工数が削減可能か比較する。また、リアルタイム配信に活用する技術（ドローン、カメラ、配信装置等）にかかる投資額とリアルタイムの配信映像の品質を加味し、従来手法と比較して現実的にコスト削減になりえるかを評価する。 ②点群データによる計測 (1) 精度：点群データから計測した数値と従来の手法（巻尺等）で計測した数値とを比較して、検査項目の基準を満たすか否かを判定できる精度で検出できているかで判断する。 (2) 安全性：ドローン自体の安全性については、技術実証項目①と同様の観点で評価する。レーザスキャナの安全性については、人体への波長の影響で評価する。 (3) 信頼性：風・雨・気温・日射量等の気象環境及び、磁場や電波などの現場環境等で問題なく機材やアプリが動作することを確認する。 (4) 工数・(5)コスト：本技術実証項目の実施にかかった工数・コストを確認し、削減可能か評価する。

【実証の結果】

結果の評価
のポイント・方
法
【2/2】

③AIによる画像検出

- (1) 精度：AIによる画像検出を使用することにより、既存の学習モデルとの検出精度を比較するとともに、物体の検出率を一般的なAIの評価指標で確認する。併せて検査に必要な検出精度となっているかを確認する。
- (2) 安全性：ドローン自体の安全性について、技術実証項目①と同様の観点で評価する。
- (3) 信頼性：風・雨・気温・日射量等の気象環境及び、磁場や電波などの現場環境等で問題なく機材やアプリが動作することを確認する。
- (4) 工数・(5)コスト：AIによる画像検出によって人力にて画像を確認した場合と比較し、工数・コストが削減可能かを確認する。

④図面のAI差分解析

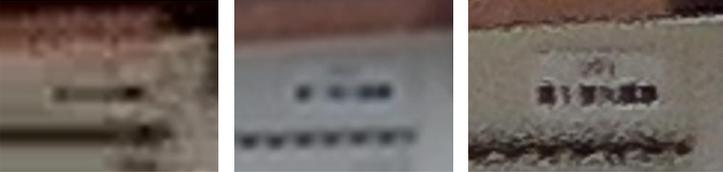
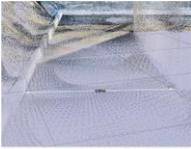
- (1)精度：作成した電子図面と既存図面の差分を抽出し、従来の検査員が行う図面による検査と比べ、同等以上の品質で検出できていることを確認する。紙図面・点群データの電子図面化の精度についても、作成した電子図面と既存図面との寸法の比較を行い、既存図面と同等の精度で作成できていることを確認する。
- (2) 安全性：図面の電子化や差分解析をするにあたって、火薬類取扱施設等における安全面の確保の観点から制約がないかを確認する。
- (3) 信頼性：紙図面・点群データの電子図面化にあたって、図面や電子図面化の性質を踏まえ、参照するデータの正確性に影響する事項を整理する。
- (4) 工数・(5)コスト：従来手法をヒアリングし、図面のAI差分解析によって工数・コストが削減可能かを確認する。

⑤点検記録アプリによる可視化

- (1) 精度：点検箇所についてAR空間上に記録することができるか、また、過去の点検内容等を記録できるかを確認する。
- (2) 安全性：点検記録アプリの利用に伴って新たな危険が生じていないか、また、そのような危険に対してリスク対策を講じているかによって評価する。
- (3) 信頼性：データを取り扱う際の破損、改ざん・漏洩などのリスクについて確認する。
- (4) 工数・(5)コスト：従来手法をヒアリングし、点検記録アプリによる点検箇所や記録の可視化・一元管理によって工数・コストが削減可能かを確認する。

【類型9 株式会社ミラテクトローン】技術実証 最終報告サマリー

【技術実証の結果】

実証の実施結果 【1/4】	技術実証項目	実証結果
	①リアルタイム配信	<p>撮影ポイントにもよるが、高度100m以上、撮影離隔200mのドローンの撮影によって、敷地内の比較的大きな構造物や付帯設備（ボイラー、煙突の有無等）を遠隔地からもリアルタイムで確認することができた。他方で、高高度からは対象物の詳細な構造や材質などの確認は困難であり、逆に低高度からの撮影では建物の表札などは確認できた。</p> <p>同一条件で撮影した配信動画、記録動画、静止画を以下に示す。</p>  <p>高度別の撮影画像（高度40m・60m・100m・145m）を以下に示す。</p>  <p>通信品質が安定している場合はタブレットのカメラを静止させることで良好な映像品質が維持された。映像品質の劣化は受信側でのみ起こり、静止した状態を維持する必要がある。壁面の材質を判断する際には映像だけでは難しい。また、後日映像を確認する場合はノイズが発生する可能性があるため注意が必要である。</p>
	②点群データによる計測	<p>巻尺や傾斜計による計測とレーザスキャナで取得した点群データとの測定値の平均誤差は以下のとおりであり、地上型は、6回中1回を除きmm単位、ドローン搭載型は、4回中1回を除き数cm、携帯型は、6回の計測がmm単位から10cmの範囲で均等にばらつく値の誤差になることを確認した。</p> <ul style="list-style-type: none"> a) 携帯型レーザスキャナ 離隔距離：2.05% 高さ：2.19% 角度：9.85% b) 地上型レーザスキャナ 離隔距離：1.48% 高さ：1.58% 角度：11.72% c) ドローン搭載型レーザスキャナ 離隔距離：2.19% 高さ：1.99% 角度：10.18% <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p>巻尺による計測</p>  </div> <div style="margin-right: 20px;"> <p>a)での計測</p>  </div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p>b)での計測</p>  </div> <div> <p>c)での計測</p>  </div> </div>

【類型9 株式会社ミラテクトローン】技術実証 最終報告サマリー

【技術実証の結果】

実証の
実施結果
【2/4】

技術実証項目

実証結果

③AIによる画像 検出

2種類の学習モデル（(a) 一般データからの学習モデル、(b) 現場データからの学習モデル）を用いたAI検出を8種類の設備（警告札、2種類の避雷針、消火器、消火設備、貯水槽、ドラム缶、ボイラー）を対象に実施した。

それぞれの検出結果を以下に示す。なお、検証データは、火薬メーカー工場においてドローン撮影によって取得した画像を用いているが、(a)の学習モデルでは460枚を48分割した22,080枚の画像データ、(b)の学習モデルでは460枚の画像データを検証データとした。

(a)一般データからの学習モデルを用いたAI検出結果

Class	画像数	物体数	適合率	再現率	mAP50	mAP50-95
合計	22080	650	0.493	0.76	0.562	0.544
警告札	22080	112	0.702	0.929	0.849	0.843
避雷針 (一般形状)	22080	205	0.392	0.421	0.32	0.285
避雷針 (電柱型)	22080	141	0.314	0.821	0.41	0.381
消火器 (ボックスなし)	22080	0	-	-	-	-
消火設備 (消火器ボックス・消火栓等)	22080	73	0.855	0.886	0.902	0.897
貯水槽	22080	14	0.483	0.714	0.606	0.564
ドラム缶	22080	96	0.643	0.771	0.651	0.647
ボイラー	22080	9	0.0596	0.778	0.194	0.193

(b)現場データからの学習モデルを用いたAI検出結果

Class	画像数	物体数	適合率	再現率	mAP50	mAP50-95
合計	460	558	0.855	0.847	0.895	0.559
警告札	460	13	0.590	0.554	0.680	0.448
避雷針 (一般形状)	460	179	0.925	0.838	0.937	0.581
避雷針 (電柱型)	460	100	0.908	0.886	0.949	0.580
消火器 (ボックスなし)	460	0	-	-	-	-
消火設備 (消火器ボックス・消火栓等)	460	92	0.946	0.891	0.947	0.631
貯水槽	460	7	0.970	1.000	0.995	0.572
ドラム缶	460	167	0.794	0.910	0.865	0.539
ボイラー	460	0	-	-	-	-

Intersection over Union (IoU)：予測した物体と正解の物体の交差領域の割合

適合率 (Precision)：「正しく検出できた物体数(IoUが閾値を超えた物体数)」を「検出された物体数」で割った値

再現率 (Recall)：「正しく検出できた物体数(IoUが閾値を超えた物体数)」を「正解である物体数」で割った値

平均適合率 (Average Precision)：縦軸が適合率で横軸が再現率の座標上に描かれるPR曲線（適合率-再現率曲線）の曲線下の面積によって得られる値

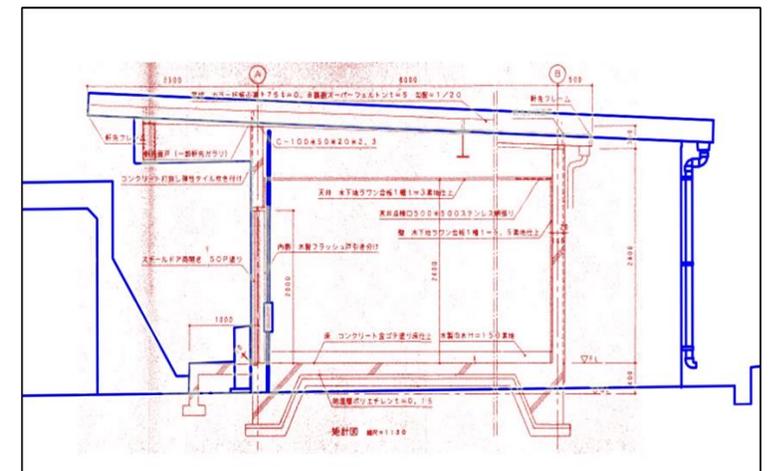
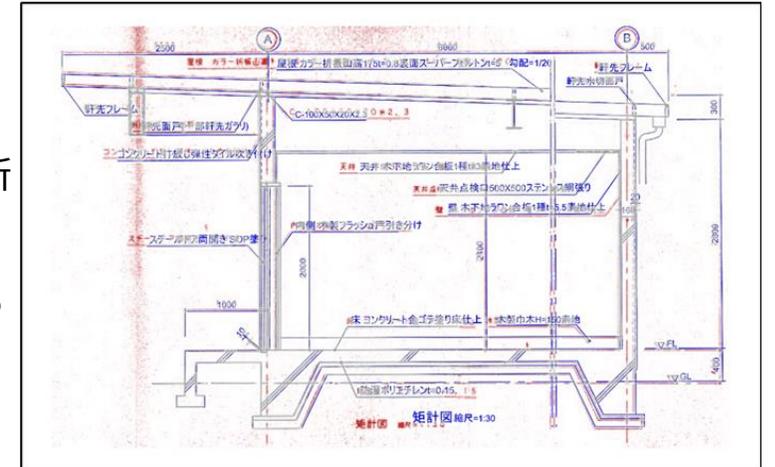
mAP (mean Average Precision)：「各クラスの平均適合率の値の和」を「クラス数」で割った値

mAP50：IoUの閾値を0.50にした時のmAPの値

mAP50-95：IoUの閾値を0.05刻みで0.50から0.95まで変化させた時の各mAPの値の平均値

【技術実証の結果】

実証の実施結果 【3/4】	技術実証項目	実証結果
	<p>④ 図面のAI差分解析</p>	<p>レーザスキャナを活用して取得した点群データ及び紙図面をもとに電子図面を作成し、紙図面とのAI差分検出を行い、紙図面との差分箇所を検出することができた。それぞれの結果は以下のとおりである。</p> <p>1) 紙図面をもとに作成した電子図面との差分検出 紙図面から作成した電子図面と既存の紙図面を比較した結果を右に示す。 青／赤で表示される線が2つの図面を比較して差分が発生している箇所であり、青線が変更前の図面、赤線が変更後の図面でそれぞれ差分があることを示している。差分として抽出されているのは既存の紙図面をスキャナなどで読み取った際に線形がぼやけて鮮明に映っていない箇所やテキスト位置の違いなど、設備や構造に係るものではないと判断できる。</p> <p>2) 点群データをもとに作成した電子図面との差分検出 点群データから作成した電子図面と既存の紙図面を比較した結果を右に示す。 紙図面から作成した電子図面に比べて大きく差分が検出される結果となったが、要因としては以下が想定される。</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 既存の紙図面で長辺が省略されているものは点群から作成した全景の電子図面と比較すると、省略部分により全体的に差が発生する。 ✓ 点群データから作成した電子図面では周辺環境までを再現しているため、建屋のみを記載した図面と比較すると差が発生する。 ✓ 既存の紙図面では点群データからでは確認ができない各部の詳細やテキスト、内部構造まで記載されているため、差が発生する。



【類型9 株式会社ミラテクトローン】技術実証 最終報告サマリー

【技術実証の結果】

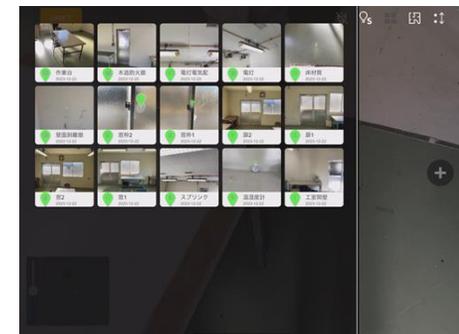
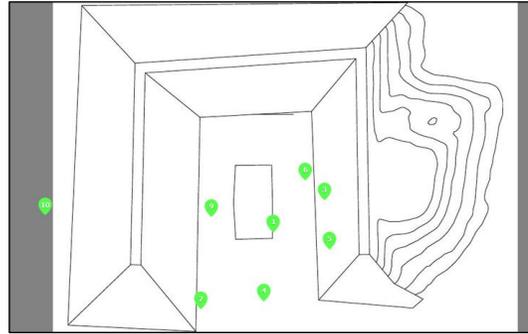
実証の
実施結果
【4/4】

技術実証項目

⑤点検記録アプリによる可視化

実証結果

点検記録アプリによって、タブレットのカメラを通じて3次元座標にデジタル付箋（ARとして表示されるピン）を設置するとともに、撮影画像の登録や日付、撮影内容、記事等のメモを入力した。このデジタル付箋は、点検記録アプリ利用時のAR空間や2D図面、3D点群データ上にも表示でき、点検が必要な場所を視覚的に把握することができ、見落とし防止や効率化につなげられることを確認した。2D図面へのピン配置およびAR（拡張現実）のピン表示の一例を以下に示す。



点検記録アプリで設置したデジタル付箋を3次元点群データ上に設置して表示したものを以下に示す。また、出力したレポート画像の例を右に示す。



【類型9 株式会社ミラテクトローン】技術実証 最終報告サマリー

【技術実証の結果】

実証の 評価結果 及び分析 【1/5】	技術実証項目	評価結果及び分析
	①リアルタイム配信	<ul style="list-style-type: none">■精度：ドローンによる撮影では、検査対象が土提などにより隠れたり、死角が生じることがあり、全ての検査対象を1つのポイントからは確認できなかった。しかし、複数の撮影ポイントや撮影高度を組み合わせることで、検査可能な対象物を増やすことができる。撮影条件の精度を高めるために、複数のポイントからの検証結果を用い最適な撮影条件を見つけることが重要である。携帯型カメラによる撮影では、使用した通信端末のスペック上、携帯型カメラの画質をそのまま送信できないが、ズーム機能を使用することで確認に必要な画質の確保が可能であった。また、通信端末の後継機は、送信できる画質を大幅に拡大している。■安全性：ドローン墜落時のリスク低減策とし、落下予測範囲を試算することにより危険区域内に墜落する可能性が無いことを確認した。さらに、ジオフェンス機能を使用した飛行により、GPS情報を元に飛行制限を行い、操作ミスによる危険区域への接近を防止した。また、ドローンが自身の位置情報を見失い暴走するリスクを低減するために係留装置の使用により、リスク低減が図れる。地上で使用する通信端末と携帯型カメラは防爆仕様が求められるが、防爆仕様製品は高額で、かつ国内の認証を受けている商品は限られている点に留意する必要がある。■信頼性：配信映像の品質は通信状況に影響を受け、配信元だけでなく受信側の通信環境も重要である。通信環境が問題なくても、リアルタイム動画圧縮によるブロックノイズを避けるために、配信映像が大きく揺れないように注意することが品質低下を防ぐ方法である。リアルタイム配信での映像劣化は断続的ではなく、実証を中断せざるを得ないような重大な問題は発生しなかった。また、配信端末本体に内蔵されたGPSにより、検査を実施している場所の正確な位置情報を受信側のPC画面上に表示することができるため、場所の真正性が担保される。■工数：ドローン撮影にかかる時間は5時間30分程度であるが、機材準備や飛行申請などに新規の場合は6時間程度かかる。これに対して、従来方法は、ヒアリングの限りでは現地での検査時間を除いて片道の移動に3~4時間かかる場合もあり、短時間の検査でも1日がかりの作業となる。そのため、どちらも同様の時間がかかると判断した。他方で、携帯型カメラであれば配信前の機材準備は10分程度で終了するので、工数減が見込める。■コスト：リアルタイム配信の導入費用は、例えば今回使用した機材であれば約351万円で、ランニングコストは月に7万円かかる。初期費用は高額だが、施設全体の検査など広範囲をカバーする際にはコスト削減の効果が期待できる。携帯型カメラとの併用により、敷地全体の外観確認はドローン、屋内や詳細な検査は携帯型カメラを使用することで、さらなるコスト削減が見込まれる。被検査者の撮影で検査を行うことができれば、検査員の交通費や労務費の削減も期待できる。

【類型9 株式会社ミラテクトローン】技術実証 最終報告サマリー

【技術実証の結果】

実証の評価結果及び分析 【2/5】	技術実証項目	評価結果及び分析
	②点群データによる計測	<ul style="list-style-type: none">■精度：従来方法での計測値との平均誤差を記載したが、異常値を除いた誤差は、地上型レーザスキャナが全てmm単位、ドローン搭載型レーザスキャナが1cmから3cmの範囲で平均2cm、携帯型レーザスキャナがmm単位から11cmの範囲で平均は5cmとなり、高額機材ほど高精度の結果となった。 ドローン搭載型のレーザスキャナは、検査に必要な項目を満足する精度であり、携帯型レーザスキャナは、検査項目により満足するものと満足しないものがあったため、適用範囲は限定する必要がある。■安全性：ドローン搭載型レーザスキャナと地上型レーザスキャナのいずれもクラス1の波長であり、人体に影響を及ぼさず安全である。 携帯型レーザスキャナは有効範囲が5mで、データ取得状況を画面確認しながら操作するため、屋内等での移動を伴わない利用とすることで安全を確保する。屋外や移動しながら利用する場合は、周囲が見えず転倒や人、設備との接触のおそれがあるため、事前に利用環境を確認したり、作業区域を分けるなどの対策は必要である。レーザによる火薬類への影響の検証できなかったため、実際の火薬類存在下での火薬庫等内部の利用では、事前の検証が必須である。■信頼性：本実証期間中、ドローン搭載型、携帯型、地上型レーザスキャナのいずれも動作不良はなく点群データを問題なく取得できたが、実際に使用する環境を事前に確認して必要なスペックの機材を選定する必要がある。携帯型レーザスキャナは、移動しながら、カメラを対象施設全体が写るように前後左右に振りかざして、データ取得を実施するため、範囲が広がるほどGPSやコンパスの精度誤差によりデータに歪みが生じる点には留意する必要がある。 被検査者によるデータ取得時の改ざんリスクに対しては、リアルタイム配信データとの整合性確認や負担増ではあるが検査者もしくは検査者からの委託事業者による点群データ化・計測の実施などの対策が取りうる。また、データ送信時の破損、漏えい・改ざんリスクに対しては、セキュリティ対策のとられたネットワークやデータ暗号化などの対策が有効である。■工数：1施設のドローンによる点群計測作業は、準備、飛行プラン作成、飛行、データ確認、撤収作業を含めて60分程度で完了した。この作業時間は、地上型レーザスキャナの作業時間の約70%減であり、精度も同等であることが確認された。従って、屋外での点群取得においては、ドローンによる点群計測が最も効率的である結果が得られたが、ドローンの飛行制限がかからない完成検査にのみ適用可能である。■コスト：ドローンによる点群取得機材の導入費用は、例えば今回使用した機材であれば約375万円であり、ランニングコストとして保険や機材点検費用等がかかる。ドローン使用に制限があり、部分的な使用段階での導入は難しく、効率的に敷地全体のデータが取得できる段階で検討する必要がある。地上型レーザスキャナの導入費用は、例えば今回使用した機材であれば1000万円程度必要になり、安価な携帯型や地上型のレーザスキャナよりも高精度な点群データが取得できるが、検査ではヒアリングした結果ではそこまで高精度なものは必要ない。

【類型9 株式会社ミラテクトローン】技術実証 最終報告サマリー

【技術実証の結果】

実証の 評価結果 及び分析 【3/5】	技術実証項目	評価結果及び分析
	③AIによる画像検出	<ul style="list-style-type: none">■精度：一般データから得られた学習モデルでは、既存の学習モデルと同程度であり、検出された物体のクラスによって精度にばらつきがあったが、誤検出よりも正しい検出が多かった。 現場データからの学習モデルでは、既存の学習モデルよりも高い精度を達成した。また、誤検出数も少ない。 両学習モデルは既存の学習モデルの検出精度以上で、それぞれの学習モデルには適した用途がある。 一般データからの学習モデルは、施設に一般形状の対象物がある場合、平均56.2%の検出精度が可能であり、対象の現場データを取得せずとも、異なる施設で共通して使用できるAI検出を提供することが可能である。 現場データから得た学習モデルは、同じ形状の対象物を持つ施設では89.5%の検出精度が実現可能である。ただし、形状が異なる場合は再学習が必要となる。このような学習モデルを使用することで、同じ施設での繰り返しの点検作業に特化したAI検出を提供し、検査員と併用することでコスト削減ができると考えられる。■信頼性：風速5m程度の風速の中でもAI検出に必要な画像が取得できた。ただし、雨天時の場合は、カメラレンズに水がついた場合、静止画のキャプチャが難しくなるため、防水カメラレンズなどの新技術の発展が期待される。 被検査者によるデータ取得時の改ざんリスクに対しては、改ざんできないデータ形式（RAW）によるAI画像解析や解析結果の共有・管理方法による対策か、負担増になるが検査側でのAI画像解析が対策として考えられる。ただしこれらの対策は、AI解析ソフト開発事業者や検査者・被検査者を含めた検討が必要となる。一方、データ送信時の破損、漏えい・改ざんリスクに対しては、セキュリティ対策のとられたネットワークやデータ暗号化などの対策が有効である。■工数：AI検出の学習や精度検証にあたって撮影した複数の検査対象施設の静止画像460枚の中から特定の検査箇所の静止画1枚を目視で確認・抽出する場合、確認に1枚30秒として最大で約4時間かかる。一方、AI検知を使用すると460枚静止画の投入作業と判定確認作業（1枚抽出）のみで済み、数時間レベルの工数の短縮が見込まれる。■コスト：撮影作業は、検査対象施設側で撮影する必要が発生するが、データの投入作業と確認作業のみで済むため、遠隔地で行うことができれば移動に関する稼働と交通費を削減にもつながる。

【類型9 株式会社ミラテクトローン】技術実証 最終報告サマリー

【技術実証の結果】

実証の評価結果及び分析 【4/5】	技術実証項目	評価結果及び分析
	④ 図面のAI 差分解析	<ul style="list-style-type: none">■ 精度：点群データから作成した電子図面は、計測時の部材の選択や点群の精度により作図の際に誤差が発生したと考えられるが、既存の紙図面と寸法を比較した結果から確認された計測誤差は最大でも5%未満であり、図面の寸法は紙図面と同等の精度であると考えられる。ただし、建屋の材質や内部構造を再現できない点においては、紙図面に劣る部分がある。紙図面をもとに作図した電子図面とスキャンした紙図面の比較では、必要以上に差分を検出したが、主にテキストや紙図面の文字消えや線がぼやけるなどの劣化が要因の大半であり、検査に必要な検出精度を有していると判断する。 また、点群データから作成した電子図面とスキャンした紙図面との比較では、必要以上に差分が検出される結果となり、比較する紙図面によっては建屋の構造や設備の差分を瞬時に判断することが困難である。点群データから作成した電子図面では建屋などの一部が省略されている紙図面との比較が困難なことや、紙図面から作成する電子図面ではテキスト位置、フォントの違い、紙図面の劣化による差分が検出されることが挙げられる。■ 安全性：紙図面を電子化してタブレット端末に保存することで図面を持ち運ぶ際の利便性が向上できるが、防爆エリアで利用するには防爆仕様のタブレットや防爆ケースが必要である。■ 信頼性：紙図面の更新・修正が正確に行われていない可能性があることから、電子図面を作成する時点の図面の情報と実態が異なることも考えられる。電子図面の作成を行う場合は、参照するデータを精査し、正確な情報入手することで信頼性の向上に繋がると考える。 被検査者によるデータ取得時の改ざんリスクに対しては、点群データ取得までは、実証項目②の対策と同様である。図面電子化後のデータは改ざん防止が難しいため、負担増ではあるが検査者もしくは検査者からの委託事業者がAI差分解析までの一連の作業を実施するなどの対策が必要となる。その際は、実証項目③と同様に、AI解析ソフト開発事業者や検査者・被検査者を含めた検討が必要となる。一方、データ送信時の破損、漏えい・改ざんリスクに対しては、セキュリティ対策のとられたネットワークやデータ暗号化などの対策が有効である。■ 工数：差分解析AIで確認を行う場合は、一目で差分があることを確認できる表示がされるため、検査員による作業時間の差が発生しないことや人の目で確認する場合の見落とし等を抑止できることが容易に考えられるため、従来手法と比較しても十分に効率化を図ることが可能だと判断した。■ コスト：AI差分検出には、ライセンス費用が必要になるが、人的ミスを抑止できるため、同程度の工数で検査の精度を上げることができれば、多少のコスト増も優位性があると考えられる。

【技術実証の結果】

実証の 評価結果 及び分析 【5/5】	技術実証項目	評価結果及び分析
	⑤点検記録アプリ による可視化	<ul style="list-style-type: none"> ■ 精度：点検記録アプリのAR空間上にデジタル付箋（ピン）を配置することで、点検箇所を確実に確認し、過去の点検内容や写真を参照することで点検誤りや見落としの防止、効率化につなげられる。 作業手順・チェックリストをデジタル化するアプリを併用することで、過去の点検内容や写真が参照できるため、単純なミスを防ぐことができる。 ■ 安全性：点検箇所をARで確認する際、タブレット画面に集中して移動することに伴う危険があるが、今回使用したアプリには、歩行速度が適切でない場合に注意を促す機能があり、一定の対策がとられている。 ■ 信頼性：アプリ使用中はデータ送受信は行わず、点検終了後に安定したWi-Fi環境でデータ送受信することで安全性が高まり、通信中のデータは暗号化されているため改ざんや漏洩のリスクが低減されている。 ■ 工数：タブレット上で行う点検作業は写真撮影や記録管理を効率化し、紙ベースの点検と比較して資料作成や処理時間が削減される。データはアプリで一元管理され、必要に応じてレポート出力も容易であり、サーバー上でのデータ管理によりファイリング時間も短縮される。 ■ コスト：データはアプリのクラウド上に保管されるため、紙のファイリングなどの管理業務のコストが削減できる。