

テクノロジーマップの整備に向けた調査研究

(アナログ規制の見直しに向けた技術実証等)における技術実証

技術実証報告書

実証類型番号 9 :

図面等の OCR、画像分析等を活用した安全検査・点検の実証

株式会社ミラテクドローン

2024年2月29日

目次

1 技術実証の概要	3
1.1 目的	3
1.2 対象業務（法令）	4
1.3 全体像	7
1.4 実施体制・期間	15
1.4.1 実施体制	15
1.4.2 実施期間	15
2 技術実証内容の詳細	16
2.1 技術実証の方法	16
2.1.1 リアルタイム配信	17
2.1.2 点群データによる計測	22
2.1.3 AI による画像検出	30
2.1.4 図面の AI 差分解析	33
2.1.5 点検記録アプリによる可視化	37
2.2 実施場所等	44
2.2.1 実証項目による実施場所	44
2.2.2 実施場所の詳細	51
2.3 実施条件等	54
3 実証の結果	55
3.1 結果の評価ポイント・方法	55
3.1.1 リアルタイム配信	58
3.1.2 点群データによる計測	60
3.1.3 AI による画像検出	62
3.1.4 図面の AI 差分解析	63
3.1.5 点検記録アプリによる可視化	64
3.2 結果及び評価・分析	67
3.2.1 リアルタイム配信	67
3.2.2 点群データによる計測	115
3.2.3 AI による画像検出	134
3.2.4 図面の AI 差分解析	161
3.2.5 点検記録アプリによる可視化	174
用語集	191

1 技術実証の概要

1.1 目的

火薬類取締法施行規則に基づき実施される火薬類製造施設・火薬庫（以下、「火薬類取扱施設等」と記す）の安全措置（表示、設置状況、爆発等防止措置等）等に係る完成検査・保安検査について、従来の検査手法では、検査員が現地に赴き、検査対象となる施設の状況を目視や巻き尺などの器具を用いた計測により実施している。

本技術実証では、従来の検査を、デジタル技術の活用により現地等に赴かずに実施することが可能か、それにより精度を維持しつつ、効率化が図れるかを検証することが求められている。

例えば、映像コミュニケーションツールを活用して、現地の検査現場の映像をリアルタイムで遠隔地（事務所など）に配信、現地作業員とコミュニケーションを取りながらカメラや計測機器によりデータ取得し、そのデータを電子図面化や可視化してクラウド上で確認ができれば、遠隔地で効率的な検査業務が可能となると考えられる。

また、火薬類取締法施行規則や告示等では検査方法や基準は定められているものの、個々の検査員の知見や経験によっては、検査の実施方法や基準の判断の仕方に、バラつきが生じやすくなる検査項目もある。これらに対して、AI 解析や取得データによるデジタル計測などが適用できれば、検査経験によらず熟練者と同水準の高い検査精度を確保することも可能となる。

一方で、火薬類取扱施設等では爆発の危険が伴うため、デジタル技術や機材を使用する場合には、防爆仕様などの特有の課題や条件が存在する。現場で利用するには、これらの制約に対しても確認しつつ検証を行う必要がある。

以上を踏まえ、本技術実証では、使用するデジタル機器についても今後の実務導入を見据えたリスクや安全な運用方法について整理しつつ、デジタル技術を用いた手法により従来手法による検査と同等以上の品質で検査が実施可能であるかについて検証する。

なお、ドローンについては、爆発や火災などの大事故に発展する化学プラント工場の点検で活用実証や検討が行われており、火薬業界においてもこれに類する爆発性物質を取り扱うという特徴を有していると考えられる。また、検査業務の効率化等の観点からは、撮影あるいは計測などの広域に渡るデータ取得を半自動的に行うことで更なる効率化を図るべきである。そこで、ドローン等で取得するデータを用いることによって従来の検査方法と同等以上の品質で検査が可能であることを確認しつつ、効率化を進めるうえで疎かにしてはならない安全面に最大限の配慮をする。ドローンの安全運航やその他機材の安全な利用を行う上での条件などを整理し、上空からでは取得が困難な領域については、前述した機材と組み合わせて活用することで新たな検査手法確立の一助とする。

1.2 対象業務（法令）

火薬類取締法施行規則第 44 条（完成検査）および第 44 条の 5（保安検査）に係る、別表第一から別表第四の内、本技術実証においては、表 1.2-1、表 1.2-2、表 1.2-3、表 1.2-4 に示す検査項目（検査対象）について、デジタル技術の導入可能性やその効果を検証する。

表 1.2-1 別表第一で対象となる検査項目

別表第一	補足事項（検査対象等）
1	製造設備が定置式製造設備であって、火薬類の製造作業を行う製造施設の場合
1-1	危険区域の警告札掲示の状況
1-2	危険区域の施設種類
1-3	延焼防止措置（測定、又は作動試験等）
1-6	ボイラー・煙突の有無
1-7	工室の耐火構造・材質（及び測定）
1-8	土堤・防爆壁（放爆式構造又は準放爆式構造の危険工室等を互いに接続している場合）の構造（及び測定）
1-13	消火設備の設置
1-13の2	発火・爆発防止措置（測定、及び作動試験等）
1-14	消火設備の設置
1-15	窓・出口の構造（避難構造）
1-15の2	窓・扉の金具材質（摩擦による爆発・発火防止）
1-15の3	窓の直射日光防止構造
1-16	工室の内面・剥離防止措置
1-16の2	工室の内面・火薬類浸透等防止措置
1-16の3	工室の床面（落下による爆発・発火対策）
1-16の4	工室の床面の材質
1-18	原動機・温湿調整装置有無
1-20	工室の暖房装置の爆発・防火措置
1-22	工室・火薬類一時置場の照明設備の防爆装置（漏電、可燃ガス、粉塵防止）
1-24	数量の掲示の状況、記載事項
1-25	木造建築物の耐火措置
1-30	工室の静電気による爆発・発火防止措置（又は測定）
1-35	乾燥台の落下対策・砂塵混入防止措置（又は測定）
1-38	爆発試験場等の危険区域内設置
1-38の3	周囲の火災防止措置（又は作動試験等）
1-41	運搬通路の路面、勾配（又は測定）
3	製造設備が移動式製造設備である製造施設の場合
3-1	区域設定・警告札掲示の状況
3-3	延焼防止措置（測定、又は作動試験等）
3-8	ボイラー・煙突の有無
3-33	廃棄焼却場の設置場所
3-33の3	周囲の火災防止措置（又は作動試験等）

表 1.2-2 別表第二で対象となる検査項目

別表第二	補足事項（検査対象）
2	地上式火薬庫の基準
2-1	火薬庫の設置場所
2-2	火薬庫の構造・材質等
2-3	火薬庫の壁
2-4	火薬庫の入口扉（盗難防止措置）
2-5	火薬庫の窓
2-6	火薬庫の床高さ・通気孔（及び測定）
2-7	火薬庫の床・内面材質
2-8	火薬庫の換気孔の設置
2-11	屋根等の材質、盗難・火災防止構造
2-12	避雷装置有無
2-14	防火設備、警戒設備の設置
2-15	火薬庫の天井・屋根の盗難防止措置
2-16	警報装置の設置（及び作動試験等）
6	地上式二級火薬庫の基準
6-2	火薬庫の構造、材質、盗難・火災防止措置
6-4	火薬庫の屋根外面等の材質、盗難・火災防止構造
6-5	避雷装置の有無

表 1.2-3 別表第三で対象となる検査項目

別表第三	補足事項（検査対象等）
1 製造設備が定置式製造設備であって、火薬類の製造作業を行う製造施設の場合	
1-1	危険区域の警告札掲示の状況
1-2	危険区域の施設種類
1-3	延焼防止措置（測定、又は作動試験等）
1-6	ボイラー・煙突の有無
1-7	工室の耐火構造・材質の維持管理状況
1-13	消火設備の維持管理状況（及び作動試験等）
1-13の2	火薬の分解・発火・爆発防止措置の維持管理状況（測定、又は作動試験等）
1-14	工室付近の消火設備の維持管理状況
1-15	窓・出口の構造（避難構造）
1-15の2	窓・扉の金具材質の維持管理状況
1-15の3	窓の直射日光防止構造の維持管理状況
1-16	工室の内面・剥離防止措置の維持管理状況
1-16の2	工室の内面・火薬類浸透等防止措置の維持管理状況
1-16の3	工室の床面（落下による爆発・発火対策）維持管理状況
1-16の4	工室の床面の維持管理状況
1-18	原動機・温湿調整装置有無
1-20	工室の暖房装置の爆発・防火措置の維持管理状況
1-22	工室・火薬類一時置場の照明設備の防爆措置の維持管理状況
1-24	数量の掲示の維持管理状況
1-25	木造建築物の維持管理状況
1-30	工室の静電気による爆発・発火防止措置の維持管理状況（又は測定）
1-35	乾燥台の落下対策・砂塵混入防止措置の維持管理状況（又は測定）
1-38	爆発試験場等の危険区域内設置
1-38の3	周囲の火災防止措置の維持管理状況（又は作動試験等）
1-41	運搬通路の路面、勾配の維持管理状況（又は測定）
3 製造設備が移動式製造設備である製造施設の場合	
3-1	区域設定・警告札掲示の維持管理状況
3-3	延焼防止措置維持管理状況（測定、又は作動試験等）
3-8	ボイラー・煙突の有無
3-33	廃棄焼却場の設置場所
3-33の3	周囲の火災防止措置の維持管理状況（又は作動試験等）

表 1.2-4 別表第四で対象となる検査項目

別表第四	補足事項（検査対象等）
2 地上式一級火薬庫の基準	
2-1	火薬庫の設置場所
2-2	火薬庫の構造・材質等
2-3	火薬庫の壁の維持管理状況
2-4	火薬庫の入口扉（盗難防止措置）
2-5	火薬庫の窓
2-6	火薬庫の床高さ・通気孔（及び測定）
2-7	火薬庫の床・内面材質
2-8	火薬庫の換気孔の設置
2-11	屋根等の材質、盗難・火災防止構造
2-12	避雷装置有無
2-14	防火設備、警戒設備の設置
2-15	火薬庫の天井・屋根の盗難防止措置
2-16	警報装置の設置（及び作動試験等）
6 地上式二級火薬庫の基準	
6-2	火薬庫の構造、材質、盗難・火災防止措置
6-4	火薬庫の屋根外面等の材質、盗難・火災防止構造
6-5	避雷装置の有無

1.3 全体像

対象業務における従来の検査手法は、現地へ検査員が赴き、目視や巻尺等を使用した計測、図面や資料の確認等により必要な検査を行い、検査結果を記録している。これに対して、本技術実証では、映像コミュニケーションツールなどのデジタル技術を活用して遠隔地での検査を行う方法の効率性等を確認する。

建屋の外はドローン、建物近傍や屋内はタブレットなどのデジタル機器を使用して、データを効率的に取得する方法を検証するとともに、AI 解析や点群データ計測、電子図面化等の取得データの有効活用方法、点検記録アプリによる可視化や記録等の効果的・効率的な表示・記録方法を探る。これらのデジタル技術の導入は、熟練者の不足や若手の育成などの人材面、現場に赴く移動時間や事務作業などの効率面、品質や手法のバラツキの解消、ヒューマンエラーやケアレスミスの低減、検査記録の一元的な管理などの効果が期待できる。

本技術実証の全体像を図 1.3-1 に示す。データ取得、データ活用、データ表示・記録の各段階で用いられる各種のデジタル機器・技術の火薬類取扱施設等の完成検査、保安検査への適用を通じて、デジタル技術の導入可能性やその効果を検証する。

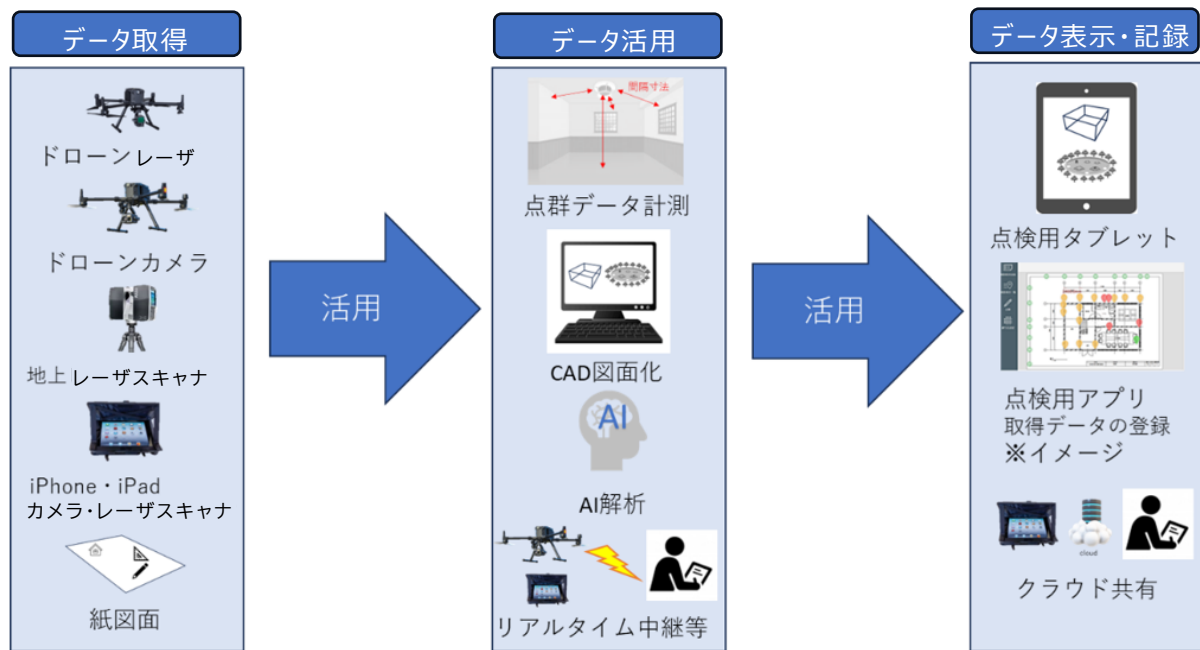


図 1.3-1 全体像の概要図

対象業務に関して、データ取得、データ活用、データ表示・記録で用いることができるデジタル機器・技術としては、以下が考えられる。

1)データ取得でのデジタル技術等

- ・遠隔操作可能なドローン
- ・ドローン搭載可視カメラやタブレットやスマートフォン等の携帯搭載カメラによる画像取得
- ・ドローン搭載レーザスキャナや携帯型・地上型レーザスキャナによる点群データ取得
- ・紙図面等のスキャンニング

2)データ活用でのデジタル技術等

- ・取得画像データのリアルタイム・遠隔配信
- ・レーザスキャナを用いて取得した点群データを活用した距離や勾配などの計測
- ・取得した点群データの2次元、3次元電子図面化
- ・紙図面等の取得データの電子図面化
- ・AIによる画像検出や差異判別

3)データ表示・記録でのデジタル技術等

- ・点検記録用アプリを活用した静止画、点群データ、電子化図面等の2次元、3次元可視化
- ・静止画、点群データ、電子化図面の登録、記録作成
- ・登録データのクラウドを利用した共有

本技術実証では、これらの技術を組み合わせて、表 1.2-1～表 1.2-4 の検査項目に対して以下の5項目での検証を行う。

- ①映像データのリアルタイム配信の検証
- ②取得した点群データによる計測の検証
- ③AI による画像検出の検証
- ④図面の AI による差分解析の検証
- ⑤点検記録用アプリを活用した可視化・記録の検証

各実証項目の実証内容の概要を以下にまとめた。

①映像データのリアルタイム配信の検証（以下、「リアルタイム配信」と記す）

施設の屋内外から、ドローン搭載カメラやタブレット・スマートフォン等の携帯型デジタルカメラで取得した映像を検査員がいる遠隔地の事務所へリアルタイム配信して、検査員による目視検査と同等に確認できるか検証する。

②取得した点群データによる計測の検証（以下、「点群データによる計測」と記す）

施設の屋内外から、ドローン搭載・地上型（タブレット等含む）レーザスキャナで取得した点群データから 3 次元データを作成し、対象物の間隔や勾配及び寸法等の計測を目視や巻き尺による検査と同等に測定できるか、検査員へのヒアリングにより検証する。

③AI による画像検出の検証（以下、「AI による画像検出」と記す）

施設の屋外から、ドローン搭載カメラで取得した静止画像から標識や設備の有無等を AI により検出した結果が、目視による検査と同等となるか、検査員へのヒアリングにより検証する。

④図面の AI による差分解析の検証（以下、「図面の AI 差分解析」と記す）

施設の屋外から、ドローン搭載型または地上型レーザスキャナ等で取得した点群データや図面をスキャンしたデータから、2 次元、3 次元の電子化図面を作成し、既存の紙図面との差分を AI で検知した結果が、目視や図面による検査と同等となるか検査員へのヒアリングにより検証する。

⑤点検記録用アプリを活用した可視化・記録の検証(以下、「点検記録アプリによる可視化」と記す)

②、③で取得した静止画データや点群データ、④で電子化した図面等を点検記録用アプリ（以下、「点検記録アプリ」と記す）を用いて可視化表示、記録作成、クラウド上で共有することにより、遠隔地にいる検査員でも画像やデータ、図面の確認、記録作成を従来方法よりも効率敵に実施できるかどうかを検証する。

実証項目①～⑤と従来手法の代替範囲、活用予定のデジタル技術や機器、取得データを表 1.3-1 各実証項目の代替範囲と活用技術や機器、取得データ等にまとめた。また、法令（別表第一～第四）において実証項目①～⑤の対象となる検査対象候補を表 1.3-2 別表第一における技術実証項目の対象検査候補～表 1.3-5 別表第四における技術実証項目の対象検査候補に整理した。

表 1.3-1 各実証項目の代替範囲と活用技術や機器、取得データ等

手法・技術・データ 実証項目	従来手法の代替範囲				活用するデジタル技術・機器・データ等			対象設備	
	目視	計測	図面	記録	データ取得	データ活用	データ表示・記録	屋外	屋内
①リアルタイム配信	○				ドローン・タブレット カメラ・動画	映像配信 (Zao)		○	○
②点群データによる計測		○			ドローン・タブレット レーザスキャナ・ 点群データ (デジスキャン等)	点群計測 (TRENDPOINT)		○	○
③AIによる画像検出	○				ドローンカメラ 静止画	AI画像検知		○	
④図面のAI差分解析	○		○		レーザスキャナ・ 点群データ (FARO) 図面スキャナ	電子図面化 (AutoCAD等) AI差分解析 (MIIDEL)		○	○
⑤点検記録アプリによる 可視化	○		○	○			可視化・記録 (PINSPECT等)	○	○

() 内は、利用したシステムやアプリ名

表 1.3-2 別表第一における技術実証項目の対象検査候補

別表第一	別表第一補足事項（検査対象等）	適用する実証項目				
		①	②	③	④	⑤
1 製造設備が定置式製造設備であって、火薬類の製造作業を行う製造施設の場合						
1-1	危険区域の警告札掲示の状況	○		○		
1-2	危険区域の施設種類	○				
1-3	延焼防止措置（測定、又は作動試験等）	○	○		○	
1-6	ボイラー・煙突の有無	○		○		
1-7	工室の耐火構造・材質（及び測定）	○				
1-8	土堤・防爆壁（放爆式構造又は準放爆式構造の危険工室等を互いに接続している場合）の構造（及び測定）	○	○			
1-13	消火設備の設置		○			○
1-13の2	発火・爆発防止措置（測定、及び作動試験等）		○			○
1-14	消火設備の設置	○		○		
1-15	窓・出口の構造（避難構造）	○				○
1-15の2	窓・扉の金具材質（摩擦による爆発・発火防止）	○				○
1-15の3	窓の直射日光防止構造	○				○
1-16	工室の内面・剥離防止措置	○				○
1-16の2	工室の内面・火薬類浸透等防止措置	○				○
1-16の3	工室の床面（落下による爆発・発火対策）	○				○
1-16の4	工室の床面の材質	○				○
1-18	原動機・温湿調整装置有無	○				○
1-20	工室の暖房装置の爆発・防火措置	○				○
1-22	工室・火薬類一時置場の照明設備の防爆装置（漏電、可燃ガス、粉塵防止）	○				○
1-24	数量の掲示の状況、記載事項	○				
1-25	木造建築物の耐火措置	○				
1-30	工室の静電気による爆発・発火防止措置（又は測定）	○				○
1-35	乾燥台の落下対策・砂塵混入防止措置（又は測定）		○			
1-38	爆発試験場等の危険区域内設置	○				
1-38の3	周囲の火災防止措置（又は作動試験等）	○				
1-41	運搬通路の路面、勾配（又は測定）	○	○	○		
3 製造設備が移動式製造設備である製造施設の場合						
3-1	区域設定・警告札掲示の状況	○		○		
3-3	延焼防止措置（測定、又は作動試験等）	○	○		○	
3-8	ボイラー・煙突の有無	○		○		
3-33	廃棄焼却場の設置場所	○		○		
3-33の3	周囲の火災防止措置（又は作動試験等）	○				

表 1.3-3 別表第二における技術実証項目の対象検査候補

別表第二	別表第二補足事項（検査対象等）	適用する実証項目				
		①	②	③	④	⑤
2 地上式火薬庫の基準						
2-1	火薬庫の設置場所	○				
2-2	火薬庫の構造・材質等	○				
2-3	火薬庫の壁					○
2-4	火薬庫の入口扉（盗難防止措置）	○				○
2-5	火薬庫の窓	○	○		○	○
2-6	火薬庫の床高さ・通気孔（及び測定）	○	○		○	○
2-7	火薬庫の床・内面材質	○				○
2-8	火薬庫の換気孔の設置	○				○
2-11	屋根等の材質、盗難・火災防止構造	○				○
2-12	避雷装置有無	○		○		
2-14	防火設備、警戒設備の設置	○	○	○		
2-15	火薬庫の天井・屋根の盗難防止措置	○				○
2-16	警報装置の設置（及び作動試験等）	○				○
6 地上式二級火薬庫の基準						
6-2	火薬庫の構造、材質、盗難・火災防止措置	○				○
6-4	火薬庫の屋根外面等の材質、盗難・火災防止構造	○				○
6-5	避雷装置の有無	○		○		

表 1.3-4 別表第三における技術実証項目の対象検査候補

別表第三	別表第三補足事項（検査対象等）	適用する実証項目				
		①	②	③	④	⑤
1 製造設備が定置式製造設備であって、火薬類の製造作業を行う製造施設の場合						
1-1	危険区域の警告札掲示の状況	○		○		
1-2	危険区域の施設種類	○				
1-3	延焼防止措置（測定、又は作動試験等）	○	○		○	
1-6	ボイラー・煙突の有無	○		○		
1-7	工室の耐火構造・材質の維持管理状況	○				
1-13	消火設備の維持管理状況（及び作動試験等）					○
1-13の2	火薬の分解・発火・爆発防止措置の維持管理状況（測定、又は作動試験等）		○			○
1-14	工室付近の消火設備の維持管理状況	○				
1-15	窓・出口の構造（避難構造）	○				○
1-15の2	窓・扉の金具材質の維持管理状況	○				○
1-15の3	窓の直射日光防止構造の維持管理状況	○				○
1-16	工室の内面・剥離防止措置の維持管理状況	○				○
1-16の2	工室の内面・火薬類浸透等防止措置の維持管理状況	○				○
1-16の3	工室の床面（落下による爆発・発火対策）維持管理状況	○				○
1-16の4	工室の床面の維持管理状況	○				○
1-18	原動機・温湿調整装置有無	○				○
1-20	工室の暖房装置の爆発・防火措置の維持管理状況	○				○
1-22	工室・火薬類一時置場の照明設備の防爆措置の維持管理状況	○				○
1-24	数量の掲示の維持管理状況	○				
1-25	木造建築物の維持管理状況	○				
1-30	工室の静電気による爆発・発火防止措置の維持管理状況（又は測定）	○				○
1-35	乾燥台の落下対策・砂塵混入防止措置の維持管理状況（又は測定）		○			
1-38	爆発試験場等の危険区域内設置	○				
1-38の3	周囲の火災防止措置の維持管理状況（又は作動試験等）	○				
1-41	運搬通路の路面、勾配の維持管理状況（又は測定）		○			
3 製造設備が移動式製造設備である製造施設の場合						
3-1	区域設定・警告札掲示の維持管理状況	○		○		
3-3	延焼防止措置維持管理状況（測定、又は作動試験等）	○	○			
3-8	ボイラー・煙突の有無	○		○		
3-33	廃棄焼却場の設置場所	○				
3-33の3	周囲の火災防止措置の維持管理状況（又は作動試験等）	○				

表 1.3-5 別表第四における技術実証項目の対象検査候補

別表第四	別表第四補足事項（検査対象等）	適用する実証項目				
		①	②	③	④	⑤
2 地上式火薬庫の基準						
2-1	火薬庫の設置場所	○				
2-2	火薬庫の構造・材質等	○				
2-3	火薬庫の壁の維持管理状況	○				○
2-4	火薬庫の入口扉（盗難防止措置）	○				○
2-5	火薬庫の窓	○				○
2-6	火薬庫の床高さ・通気孔（及び測定）	○				○
2-7	火薬庫の床・内面材質	○				○
2-8	火薬庫の換気孔の設置	○				○
2-11	屋根等の材質、盗難・火災防止構造	○				○
2-12	避雷装置有無	○		○		
2-14	防火設備、警戒設備の設置	○		○		
2-15	火薬庫の天井・屋根の盗難防止措置	○				○
2-16	警報装置の設置（及び作動試験等）	○				○
6 地上式二級火薬庫の基準						
6-2	火薬庫の構造、材質、盗難・火災防止措置	○				○
6-4	火薬庫の屋根外面等の材質、盗難・火災防止構造	○				○
6-5	避雷装置の有無	○		○		

1.4 実施体制・期間

1.4.1 実施体制

表 1.4-1 実施体制

事業者名	実施業務・役割
株式会社ミラテクドローン	技術実証事業の運営、コンサルティング、実証の実施
シャープ株式会社 (株式会社ミラテクドローンからの再委託先)	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
株式会社キャディアン (株式会社ミラテクドローンからの再委託先)	紙図面あるいは点群データからの 2 次元および 3 次元図面の作成
アンリツ株式会社 (株式会社ミラテクドローンからの再委託先)	ドローンと操縦装置（操縦装置）間の電界強度測定、周波数測定結果に関する技術実証報告書作成
株式会社 LAI (株式会社ミラテクドローンからの再委託先)	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
有限会社フーチャーネット (株式会社ミラテクドローンからの再委託先)	仮設設備配線工事（警報線設置・撤去）
火薬メーカー (実証場所の提供元会社)	2.2.2 に示す当該施設（爆発などの危険性の無い）類似施設を提供
日本火薬工業会 (アドバイザー)	実施場所提供会社との連携支援や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

1.4.2 実施期間

本技術実証の実施期間は、2023 年 11 月 7 日～2024 年 2 月 29 日、実施工程は、表 1.4-2 実証のスケジュールの通りである。

表 1.4-2 実証のスケジュール

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				■	■	■	■	■	■	■	■	■

2 技術実証内容の詳細

2.1 技術実証の方法

本技術実証の実証項目の実証内容・方法を表 2.1-1 実証項目毎の実証内容と使用デジタル技術・機器に示した。また、各実証方法で用いる主なデジタル技術や機器も示しており、利用したシステムやアプリは（）内に例示した。

実証項目毎に、実施内容やデジタル技術・機器の詳細を以下にまとめた。

表 2.1-1 実証項目毎の実証内容と使用デジタル技術・機器

実証項目	主な実施内容・方法	使用する主なデジタル技術・機器
①リアルタイム配信	1) ドローン搭載カメラにより取得した施設外観や施設周辺の映像データを遠隔地にリアルタイム配信する。	ドローン搭載カメラ 配信システム（ZAO）
	2) 携帯型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にリアルタイム配信する。	タブレット（iPad） 配信システム（ZAO）
②点群データによる計測	1) ドローン搭載レーザスキャナにより施設外観や施設周辺の点群データを取得する。	ドローン搭載 LiDAR （Zenmuse L1）
	2) 携帯型・地上型のレーザスキャナにより施設近傍や施設内の点群データ取得を取得する。	タブレット搭載 LiDAR （デジスキャン） 地上型 LiDAR（FARO）
	3) 取得した点群データを 3 次元データ化し、対象物の間隔や勾配を計測する。	点群計測システム （TRENDPOINT）
③AI による画像検出	ドローン搭載カメラにより取得した施設付帯装置や施設周辺の静止画データから AI により検査対象となる装置や設備を検出する。	ドローン搭載カメラ （Zenmuse H20T） AI 画像検出
④図面の AI 差分解析	1) 紙図面や地上型レーザスキャナ取得の点群データを電子図面化する。	図面や点群データの 2 次元・3 次元電子図面化 （AutoCAD）
	2) 電子化図面を AI 差分解析ソフトを用いて比較・判別する。	AI 差分解析システム （MIIDEL）
⑤点検記録アプリによる可視化	点検記録アプリにより、電子図面化した紙資料や点群データを可視化表示し、点検記録を作成する。	点検記録可視化システム （Pinspect）

2.1.1 リアルタイム配信

従来の検査手法では「現地における目視による検査」が必要であるが、現地での目視に置き換える検査手法としてリアルタイム配信が適用可能かを確認する。実証項目「①リアルタイム配信」では、表 2.1-1 に示した通り、次の 2 つの実施内容を行う。

- 1) ドローン搭載カメラによるリアルタイム配信
- 2) 携帯型カメラによるリアルタイム配信

2.1.1.1 ドローン搭載カメラによるリアルタイム配信

ドローンによるリアルタイム配信を実施し、現地における目視検査と同等の検査が可能か確認する。

(1) 実施方法

現場にてドローンを飛行させ検査対象をカメラにて捉えることにより、パイロットが操縦のために把持している操縦装置の画面に映像が映し出される。映像を操縦装置から映像配信装置へ出力し、ネットワークを介して遠隔地にある事務所の PC 上へと映像を配信する。事務所では検査について知見のある検査員が配信された映像を確認することにより、検査を行う。

ドローン搭載カメラによる映像データの遠隔地へのリアルタイム配信による検査のイメージを、図 2.1-1 に示した。

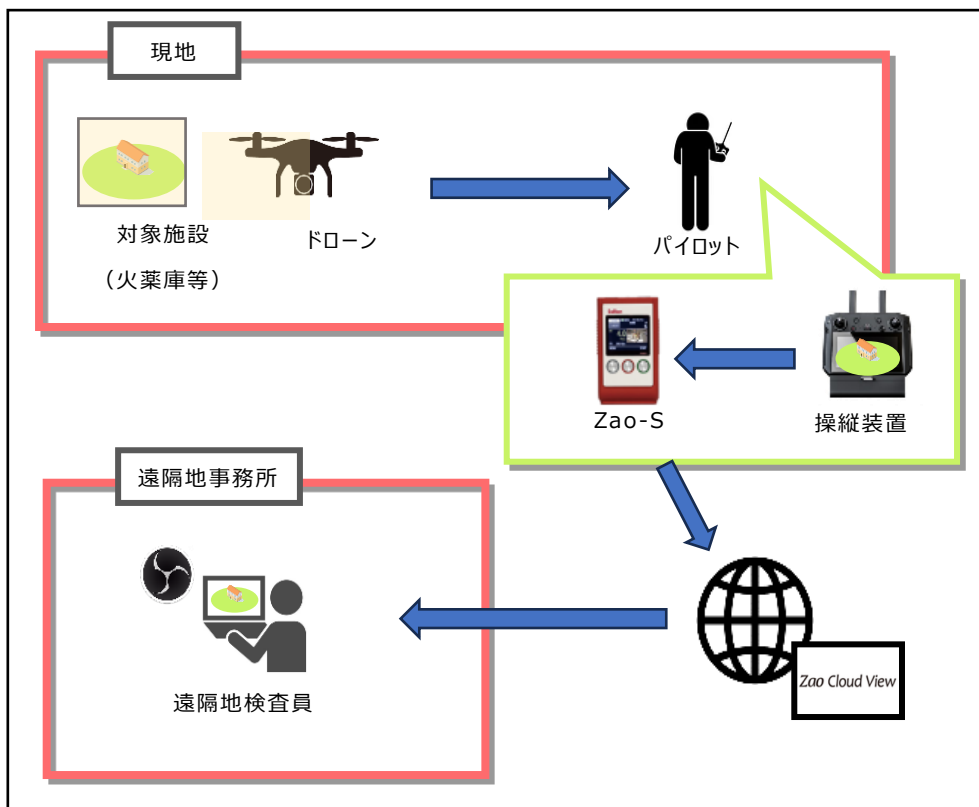


図 2.1-1 ドローン映像のリアルタイム配信による検査のイメージ

(2) 使用機器・技術

ドローン搭載カメラによるリアルタイム配信にて使用する主要なデジタル機器・システムは、(ア) 配信装置、(イ) 配信システム、(ウ) ドローン、(エ) カメラの4種類である。以下にこれらの機器の詳細を説明する。

なお、本技術実証では、一般的な電子機器の火薬類取扱施設等へ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取扱施設等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危険性のない場所で実施することを前提に、防爆仕様等の制限はない機器を利用している。また、ドローンの操縦装置や本体の電波による電気雷管の起爆可能性についても、安全性の評価観点から検証している(詳細は3.2.1.1(2)(イ)を参照)。

(ア) 配信装置

配信装置は株式会社ソリトンシステムズの Smart-telecaster Zao-Sを使用する。配信装置の仕様を表 2.1-2 遠隔点検用配信装置の仕様を示す。

表 2.1-2 遠隔点検用配信装置の仕様

名称	Smart-telecaster Zao-S
製造業者	株式会社ソリトンシステムズ
外観	 出典：株式会社ソリトンシステムズ HP
寸法	横幅 77mm、高さ 123mm、奥行き 35mm
重量	約 350g
映像フォーマット	1080i 59.94/50 720p 59.94/50 480i /59.94
特徴	重量は約 350g という軽量を誇るこの超小型筐体は、手のひらサイズのコンパクトな形状をしている。 HD-SDI と HDMI の両方の入力に対応しており、様々な映像機器との互換性を持つ。さらに、モバイル回線を最大 3 回線まで束ねる機能を有しているため、通信の冗長化と安定化を実現することが可能である。

(イ) 配信システム

配信システムは（ア）の配信装置に対応したシステムを使用する。配信システムの仕様を表 2.1-3 遠隔点検用配信システムの仕様を示す。


表 2.1-3 遠隔点検用配信システムの仕様

名称	Smart-telecaster Zao Cloud View																																					
開発業者	株式会社ソリトンシステムズ																																					
イメージ	<p>出典：株式会社ソリトンシステムズ</p>																																					
特徴	Smart-telecaster Zao シリーズに対応した通信が可能であるため、電波の届きづらい山間部でも安定した通信ができる可能性が高く、高品質な映像をリアルタイムで配信することができる。また、双方向音声通話が可能なため遠隔地での作業を促進することが可能である。																																					
仕様	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>ブラウザ版</th> <th>アプリ版</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>対応送信機</td> <td colspan="2">Zao / Zao-S / Zao-X / Zao App / Zaoウェアラブル</td> </tr> <tr> <td>送信機同時接続数</td> <td colspan="2">最大12 ※1</td> </tr> <tr> <td>配信映像同時表示数</td> <td colspan="2">最大12 ※1</td> </tr> <tr> <td>閲覧端末同時接続数</td> <td colspan="2">最大6 ※1</td> </tr> <tr> <td>双方向通話</td> <td colspan="2">○</td> </tr> <tr> <td>GIS</td> <td colspan="2">OpenStreetMap / Google Map</td> </tr> <tr> <td>アーカイブ方式</td> <td colspan="2">自動蓄積 / mp4</td> </tr> <tr> <td>アーカイブ保存容量</td> <td colspan="2">300GB</td> </tr> <tr> <td>解像度 / フレームレート</td> <td>640x360~1920x1080 / 1~30fps</td> <td>640x360~3840x2160 / 1~60fps ※2</td> </tr> <tr> <td>映像コーデック</td> <td>H.264</td> <td>H.265</td> </tr> <tr> <td>通信暗号化方式</td> <td colspan="2">SRTP</td> </tr> </tbody> </table> <p>注釈 *1：使用する解像度により異なります。 *2：4K解像度の場合は1映像のみ受信可能です。</p>			ブラウザ版	アプリ版	対応送信機	Zao / Zao-S / Zao-X / Zao App / Zaoウェアラブル		送信機同時接続数	最大12 ※1		配信映像同時表示数	最大12 ※1		閲覧端末同時接続数	最大6 ※1		双方向通話	○		GIS	OpenStreetMap / Google Map		アーカイブ方式	自動蓄積 / mp4		アーカイブ保存容量	300GB		解像度 / フレームレート	640x360~1920x1080 / 1~30fps	640x360~3840x2160 / 1~60fps ※2	映像コーデック	H.264	H.265	通信暗号化方式	SRTP	
	ブラウザ版	アプリ版																																				
対応送信機	Zao / Zao-S / Zao-X / Zao App / Zaoウェアラブル																																					
送信機同時接続数	最大12 ※1																																					
配信映像同時表示数	最大12 ※1																																					
閲覧端末同時接続数	最大6 ※1																																					
双方向通話	○																																					
GIS	OpenStreetMap / Google Map																																					
アーカイブ方式	自動蓄積 / mp4																																					
アーカイブ保存容量	300GB																																					
解像度 / フレームレート	640x360~1920x1080 / 1~30fps	640x360~3840x2160 / 1~60fps ※2																																				
映像コーデック	H.264	H.265																																				
通信暗号化方式	SRTP																																					

(ウ) ドローン

火薬類取扱施設等の遠隔点検を実施する際、施設内に火薬類が保管されている場合、安全上の理由（ドローンの墜落による爆発等のリスクを回避する必要がある）から施設上空をドローンが飛行することはできない。そのため、飛行場所を施設から適切な距離を確保した位置に設定する必要があり、細密な撮影を行うためには望遠レンズの使用が必要となる。この状況を考慮して、望遠レンズが搭載可能なドローンを選定することが重要である。望遠レンズを搭載したドローンを使用することで、安全距離を保ちながらも施設の詳細な状態を高解像度で捉えることが可能となり、遠隔点検の精度と効率の向上が期待できる。遠隔点検の為に撮影するカメラを搭載するドローンの仕様を表 2.1-4 遠隔点検用ドローンの仕様を示す。

表 2.1-4 遠隔点検用ドローンの仕様

名称	Matrice300RTK
開発業者	DJI
外観	 <p>出典：DJI HP</p>
寸法	810 × 670 × 430 mm (長さ×幅×高さ)
重量	9 kg
最大風圧抵抗	12m/s
最大飛行時間	55 分
特徴	風の乱反射に対しての機体の動きが穏やかで非常に安定性が高い。さらに、機体の 6 面すべてに搭載されたビジョンセンサーと TOF センサーにより、非 GPS や GPS が少ない場合でも高い安定性、安全性を維持する。

(エ) カメラ

(ウ) のドローンに対応したカメラとして、長距離から撮影を行うため光学ズーム対応のカメラを選定した。ドローンに搭載するカメラの仕様を表 2.1-5 遠隔点検用カメラの仕様を示す。

表 2.1-5 遠隔点検用カメラの仕様

名称	Zenmuse H20T	
製造業者	DJI	
外観	 <p>出典：DJI HP</p>	
寸法	167×135×161 mm (長さ×幅×高さ)	
重量	約 828 g	
レンズ	広角レンズ	望遠レンズ
センサー	1/2.3 インチ CMOS、12MP	1/1.7 インチ CMOS、20 MP
対角視野	82.9°	66.6°～4°
焦点距離	4.5mm	6.83～119.94mm
特徴	DJI の Zenmuse H20T は、産業用ドローンの運用に適した高度なマルチセンサー搭載カメラシステムである。このシステムは、ズームカメラ、ワイドカメラ、サーマルカメラ、レーザーレンジファインダーを一つのユニットに統合している。20MP の高解像度ズームカメラにより、遠距離からの詳細な観察が可能であり、同時に広範囲をカバーするワイドカメラも搭載されている。	

2.1.1.2 携帯型カメラによるリアルタイム配信

携帯型カメラによるリアルタイム配信を実施し、目視と同等の検査が可能か確認する。

(1) 実施方法

対象施設における検査対象箇所のうち、ドローンがアクセスしづらい場所や飛行上の制約のある領域を特定し、携帯型カメラでの検査が必要な箇所を撮影する。撮影を想定する領域としては、建築物や施設の屋内、軒下などで上空からでは死角となる外観の一部、床下構造などがあり、「2.1.1.1 ドローン搭載カメラによるリアルタイム配信」(2) 使用機材 (ア) と (イ) で示したリアルタイム配信システムによりリアルタイムでの配信を行う。携帯型カメラによる映像データの遠隔地へのリアルタイム配信による検査のイメージを、図 2.1-2 携帯型カメラ映像のリアルタイム配信による検査のイメージに示した。

携帯型カメラからの映像データをリアルタイムで送信するための通信手段 (モバイルデータ通信、Wi-Fi など) を確保する必要があり、本技術実証ではキャリア SIM (モバイルデータ通信) を使用する。

クラウドシステムを併用した配信のため、遠隔地の事務所や検査員が映像を確認する場合は特定の URL に接続することで、リアルタイムでの映像受信が可能となる。

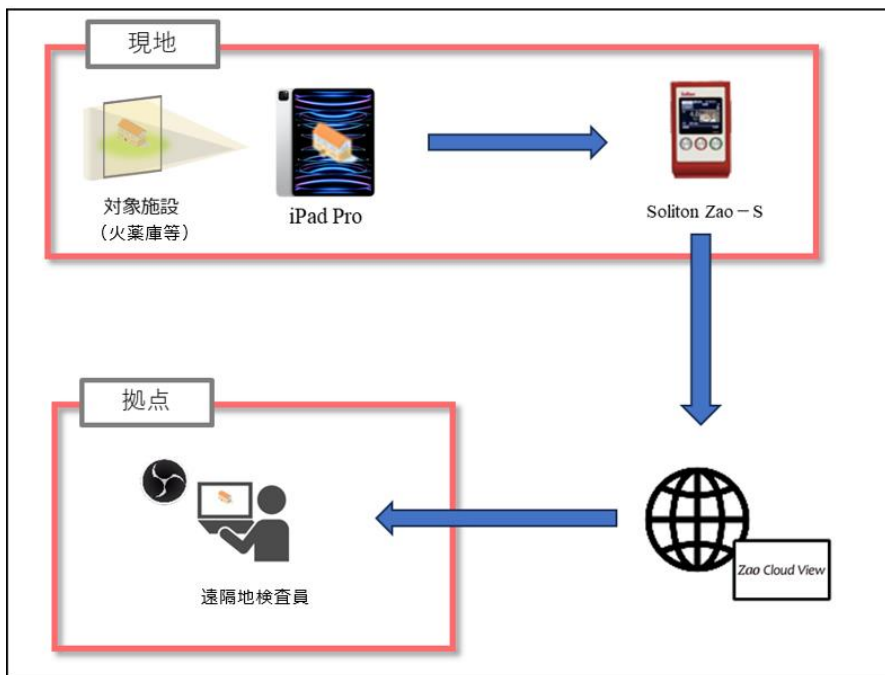


図 2.1-2 携帯型カメラ映像のリアルタイム配信による検査のイメージ

(2) 使用機器・技術

携帯型カメラについては、後記する本技術実証の代替手法の1つとしてiOSアプリを活用しているため、当該iOSアプリの利用のために携行するiPadのカメラを本項の手法についても活用することで、検査時の機材の準備や持ち替える工数を削減することを目的として選定した。携帯型カメラとして使用する機器の仕様を表2.1-6 携帯型カメラの仕様を示す。

表 2.1-6 携帯型カメラの仕様

名称	iPad Pro 12.9 インチ (第 6 世代)
開発業者	Apple
外観	 出典：Apple HP
寸法	6.4 × 214.9 × 280.6 mm (厚さ×幅×高さ)
重量	682 g
容量	512GB
特徴	Pro のカメラシステム：広角カメラと超広角カメラ 広角：12MP、 <i>f</i> /1.8 絞り値 超広角：10MP、 <i>f</i> /2.4 絞り値、125°視野角 2 倍の光学ズームアウト、最大 5 倍のデジタルズーム

2.1.2 点群データによる計測

従来の検査手法では「目視や測定器具による検査」が必要であるが、これらを代替する検査手法として点群データによる計測が適用可能かを確認する。実証項目「②点群データによる計測」では、表 2.1-1 に示した通り、次の3つの実施内容を行う。

- 1) ドローン搭載レーザスキャナによる点群データの取得
- 2) 携帯型・地上型レーザスキャナによる点群データの取得
- 3) 取得した点群データによる距離・勾配の計測

2.1.2.1 ドローン搭載レーザスキャナによる点群データの取得

ドローン搭載レーザスキャナにより点群データを取得し、取得データが点群データによる計測に適用可能か確認する。

(1) 実施方法

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する。

(2) 使用機器・技術

ドローンは「2.1.1.1 ドローン搭載カメラによるリアルタイム配信」(2) 使用機材 (ウ) と同一の機器を使用する。レーザスキャナは、使用するドローンに対応した機種を選定した。当該レーザスキャナの仕様を表 2.1-7 に示す。

表 2.1-7 ドローン搭載型レーザスキャナの仕様

名称	Zenmuse L1
製造業者	DJI
外観	 <p>出典：DJI HP</p>
寸法	152×110×169 mm (長さ×幅×高さ)
重量	約 930 g
センサー	Livox 社製
最大取得点数	72 万点
リターン数	1~3
推奨対地高度	50m
特徴	Zenmuse L1 は、航空測量向けレーザスキャナ。Livox 製 LiDAR モジュールが組み込まれており、70°FOV、高精度 IMU 搭載、超軽量で、さらに 3 軸ジンバルスタビライザーに 1 インチ CMOS センサーとメカニカルシャッターを備えた 20MP カメラを搭載。

2.1.2.2 携帯型・地上型レーザスキャナによる点群データの取得

携帯型・地上型レーザスキャナにより点群データを取得し、取得データが点群データによる計測に適用可能を確認する。

(1) 実施方法

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する。

(2) 使用機器・技術

(ア) 携帯型レーザスキャナ (デジスキャン)

iPhone/iPad に搭載された LiDAR センサーを用いて現場で簡単に 3 次元スキャンが可能なアプリ

「デジスキャン」を使用する。表 2.1-8 デジスキャンの仕様を示す。カメラで撮影された画像から点群データを生成する（

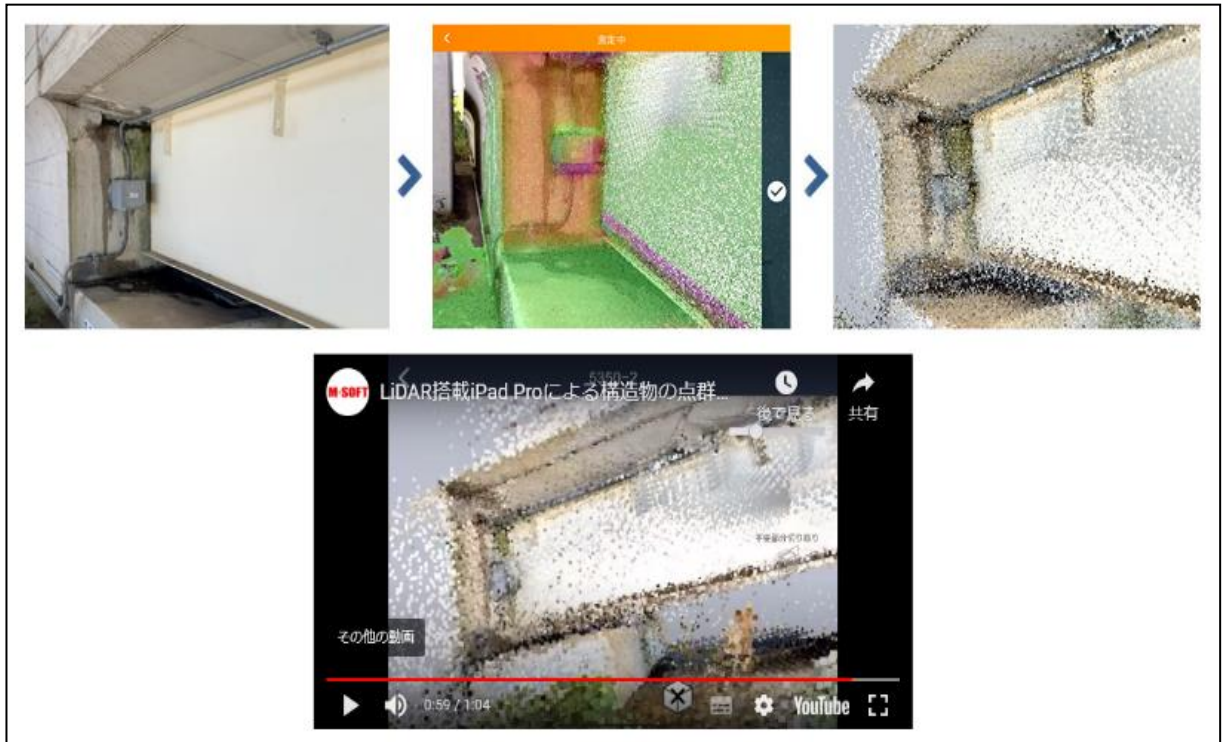



図 2.1-3 タブレット搭載カメラで撮影した画像を点群データに変換)。具体的には、一時火薬保管庫、危険工室の建物（周囲を含む）及び屋内を撮影し、3次元スキャンを実施する。取得したデータは実証項目「⑤点検記録アプリによる可視化」で Pinspect（詳細は 2.1.5）に登録して利用する。

3次元スキャンにより、点群とメッシュデータを取得することが可能であることから、従来、専用の機材が必要だった3次元スキャンが、iPhone/iPadで簡単、短時間に行うことが可能である（図 2.1-4 複雑3次元形状のトンネルを点群データに変換した例）。デジスキャンによって取得した点群データは専用のクラウド Viewer にアップロードすることで、測量、進捗管理、点検ポイント可視化など、様々な用途に利用することもできる（図 2.1-5 クラウド環境を利用したデータ共有イメージ）。現場の3次元形状をリアルスケールで記録可能なため、離れた場所でもクラウド上のデータから現場の状況を把握することが可能となる。

表 2.1-8 デジスキャンの仕様

名称	株式会社エム・ソフト デジスキャン
開発業者	 伝わる 画像技術 出典：株式会社エム・ソフト

製品ロゴ	
特徴	<p>検査・点検箇所を AR（拡張現実）で記録、可視化を行い 建設、設備メンテナンス業における報告業務の省力化、生産性向上を実現する</p>
機能	<ul style="list-style-type: none"> ・対象箇所の 3 次元座標を取得し、デジタル付箋（ピン）として空間上に可視化する ・写真やメモを座標と紐付けて保存することで、現場情報を図面や EXCEL 形式のレポートとして出力する ・記録したピンは、クラウド経由で他のユーザーと共有可能、外部の BIM/CIM、点群データ等に反映することが可能

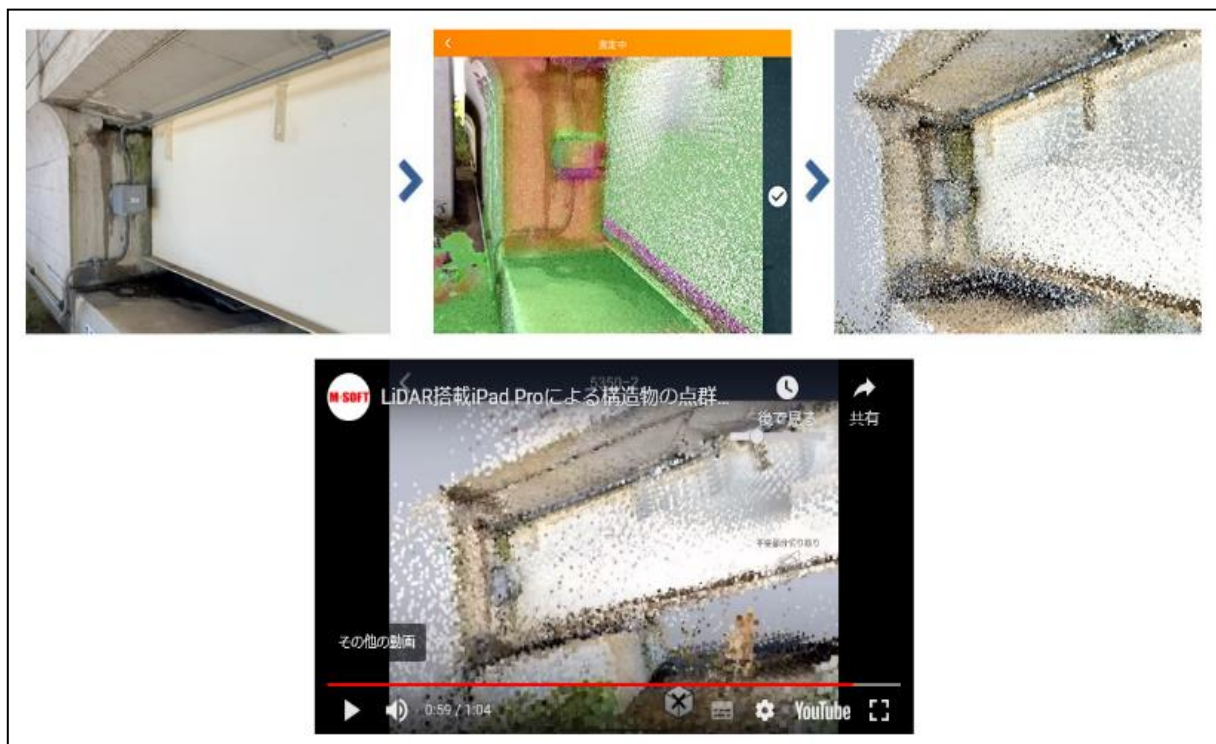


図 2.1-3 タブレット搭載カメラで撮影した画像を点群データに変換
（株式会社エム・ソフト デジスキャン ホームページより引用）



図 2.1-4 複雑 3 次元形状のトンネルを点群データに変換した例
(株式会社エム・ソフト デジスキャン ホームページより引用)

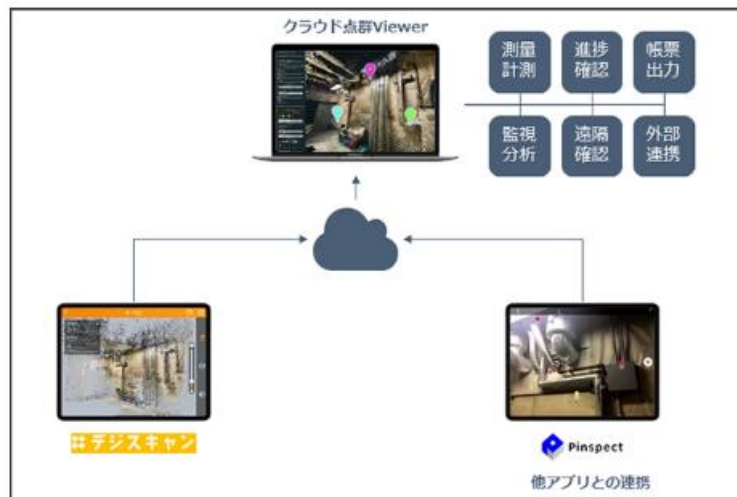



図 2.1-5 クラウド環境を利用したデータ共有イメージ

(イ) 地上型レーザスキャナ (FARO)

計測範囲が広く、建築物などの計測に最適な地上型レーザを選定した。レーザスキャナの仕様を表 2.1-9 地上型レーザスキャナの仕様を示す。

表 2.1-9 地上型レーザスキャナの仕様

名称	FARO 3次元レーザスキャナ Focus Laser Scanner S350
開発業者	FARO
外観	 <p>出典：FARO HP</p>
寸法	103 × 230 × 183 mm (厚さ×幅×高さ)

重量	4.2kg (バッテリーを含む)
内蔵バッテリー 連続使用	4.5 時間
特徴	スキャン範囲は最大 350m、スキャン位置ごとに広範囲のスキャンエリアに対応。スキャナを使用して 3 次元モデルを作成し、復元、修復、保全のために活用できる。Focus Laser Scanner を活用して、生産の効率化を実現可能。複雑な機械部品をスキャンして製造ドキュメントを作成したり、得られた 3 次元 CAD データと寸法管理を利用して、必要に応じて現場の外での正確なアセンブリを行ったりできる。

地上型レーザスキャナの計測範囲を確認し、データ取得の範囲を設定する。レーザスキャナを適切な位置に配置し、施設建屋の外観や内部の表示、壁面、内部配置をデータ取得する。

地上型レーザスキャナでは、全方位（360°）のデータ取得が可能のため、建屋内外からそれぞれ計測を行うことで検査対象項目のデータ取得が可能となる。

ただし、検査対象箇所がスキャナを設置した位置から直線上にある建屋や設備により遮蔽されることが無いように設置位置は現地で調整し、計測を行う。併せて、点群データを結合させるため、隣接する計測ポイントでは重複したデータを取得する。

建屋側面のデータを取得する場合、図 2.1-6 点群データの取得範囲（2 点）示すように 2 点からの計測では、それぞれの面のデータは取得できるが、重複したデータが無い点群データの結合が困難となる。図 2.1-7 点群データの取得範囲（3 点）に示すように 3 点にして、それぞれの点群データの取得範囲が重複する位置に計測点を増やすことにより、全ての計測データが繋がることでデータの結合を容易にする。

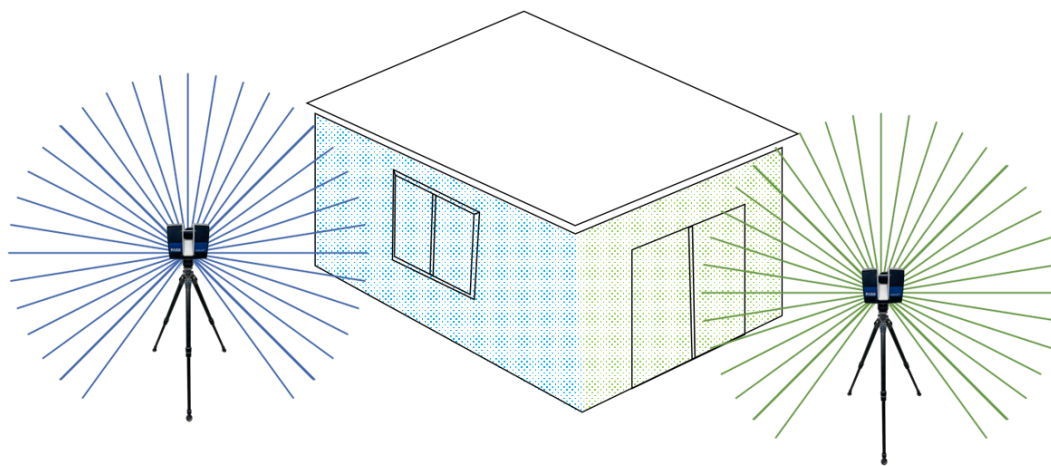


図 2.1-6 点群データの取得範囲（2 点）

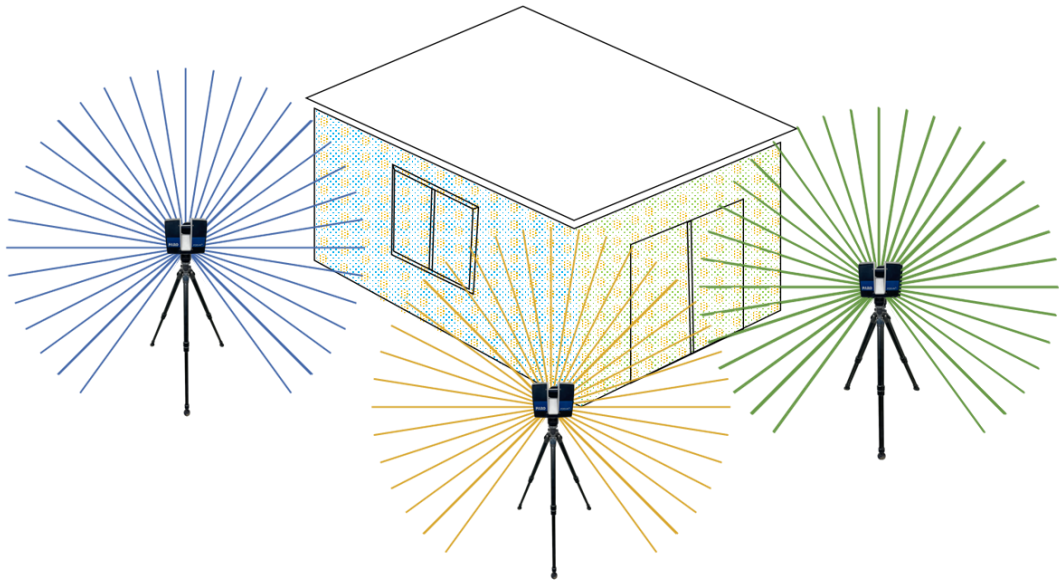


図 2.1-7 点群データの取得範囲（3点）

2.1.2.3 取得した点群データによる距離・勾配の計測

取得した点群データを用いて距離や間隔・寸法、勾配などの計測を行い、目視や巻き尺等と同等の測定が可能か確認する。

(1) 実施方法

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う。計測イメージを図 2.1-8 に示す。点群データから簡単に距離や面積、体積や点群密度などの計測が行え、計測結果の配置・登録が可能である。

計測に使用した点群データは表 2.1-10 の通りである。

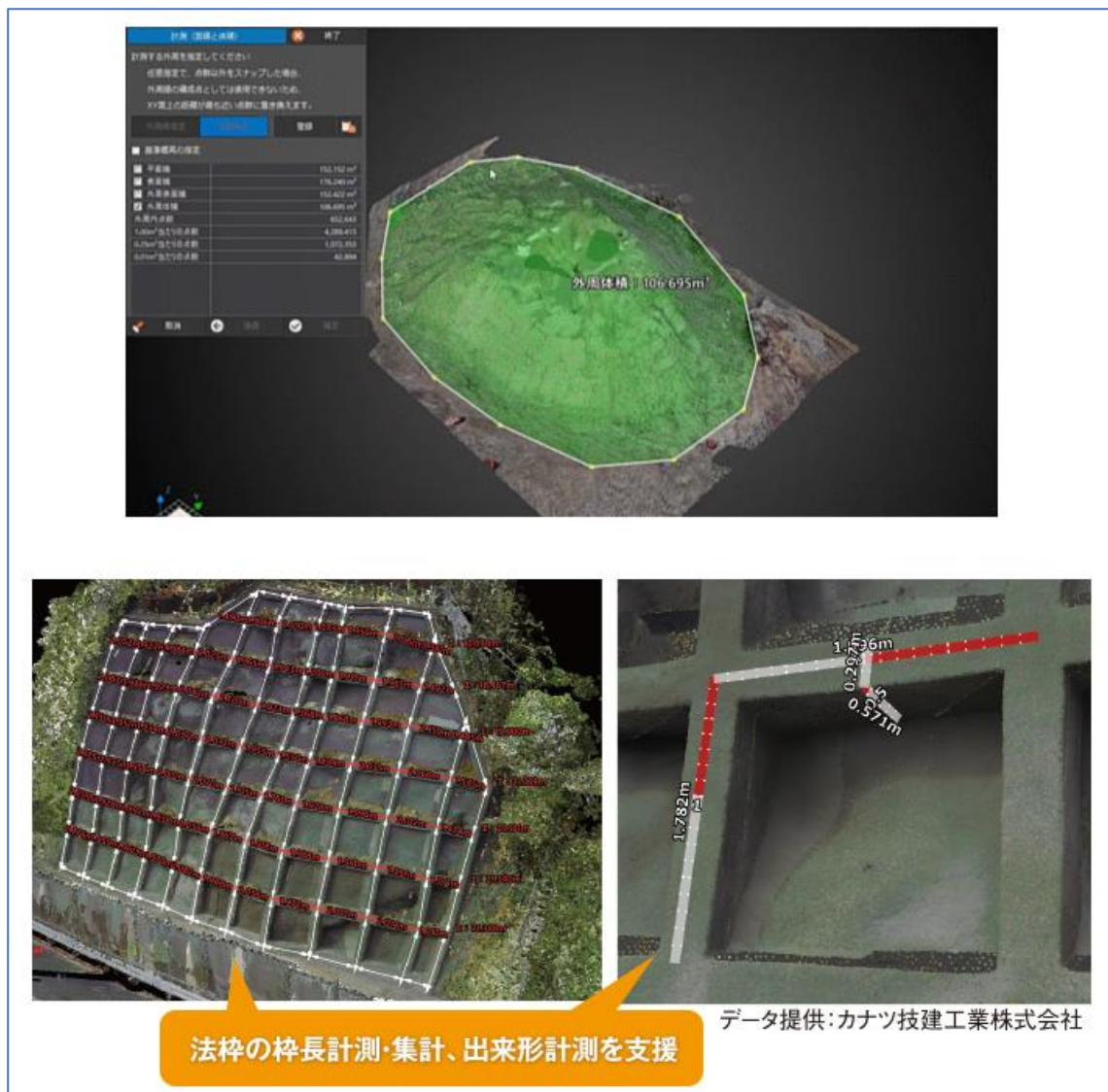


図 2.1-8 点群データを用いた計測イメージ

出典：福井コンピュータ株式会社 HP

(<https://const.fukui compu.co.jp/products/trendpoint/tsutaeru.html>)

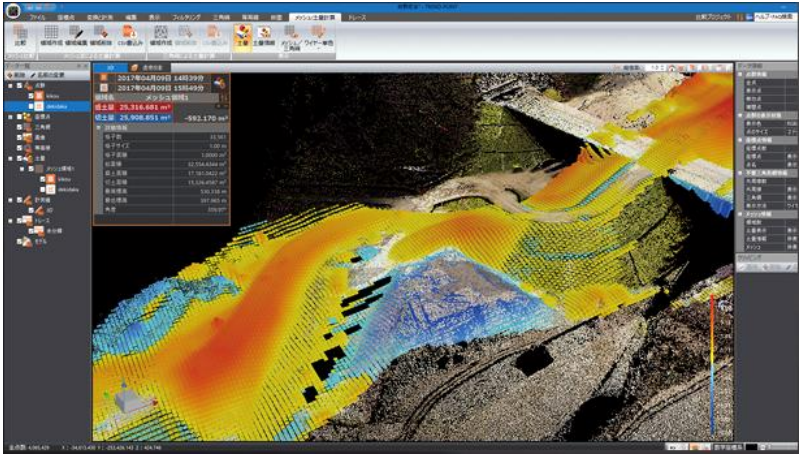
表 2.1-10 計測に使用する点群データ

実施場所	計測対象	計測箇所	携帯型 レーザ スキャナ	地上型 レーザ スキャナ	ドローン
試験場	施設（火薬庫から土堤まで）の寸法	① 離隔（水平）	○	○	○
	施設（火薬庫から土堤まで）の寸法	② 離隔（水平）	○	○	○
	施設（火薬庫から土堤まで）の寸法	③ 離隔（水平）	○	○	○
	空き地の寸法	④ 離隔（水平）		○	○
	堤脚の寸法	⑤ 離隔（高さ）	○	○	○
	土堤の角度	⑥ 勾配	○	○	○
	土堤の角度	⑦ 勾配	○	○	○
	運搬通路の角度	⑧ 勾配	○	○	
	運搬通路（テント前）の角度	⑨ 勾配	○	○	○
危険工室	施設（火薬庫から土堤まで）の寸法	⑩ 離隔（水平）	○	○	
	施設（火薬庫から土堤まで一番狭い幅） の寸法	⑪ 離隔（水平）	○	○	
	温湿度計を置いている机の寸法	⑫ 離隔（高さ）	○	○	
	土堤の角度	⑬ 勾配	○	○	
火薬類 一時置場	堤脚の寸法	⑭ 離隔（高さ）	○	○	
能勢高原 ドローンフィールド	乾燥台の寸法	⑮ 離隔（高さ）	○	○	○
技術センタ	スプリンクラーの寸法	⑲ 離隔（水平）	○	○	
火工所	通気口の寸法	⑯ 離隔（水平）	○	○	
	通気口鉄格子の寸法	⑰ 離隔（水平）	○	○	
	通気口鉄格子間の寸法	⑱ 離隔（水平）	○	○	
	窓鉄格子の寸法	⑲ 離隔（水平）	○	○	
	窓鉄格子間の寸法	⑳ 離隔（水平）	○	○	
	通気口の寸法	㉑ 離隔（高さ）	○	○	
	窓の寸法	㉒ 離隔（高さ）	○	○	

(2) 使用機器・技術

点群データから施設・設備の寸法、土堤との間隔や土堤の勾配を計測するためのソフトウェアの仕様を表 2.1-11 に示す。

表 2.1-11 点群データ計測ソフトウェアの仕様

名称	TREND-POINT
開発業者	福井コンピュータ株式会社
使用画面	 <p>出典：福井コンピュータ株式会社 HP</p>
特徴	膨大な点群データを快適に取り扱え、豊富なフィルターによる点群データ加工や断面作成、メッシュ土量計算などが可能

2.1.3 AI による画像検出

実証項目「③AI による画像検出」では、目視もしくは図面による検査項目を AI による画像検出で代替可能かを確認する。

(1) 実施方法

実証項目「①リアルタイム配信」と並行して建屋の付帯装置や施設周辺の外観の静止画を取得する。これらの静止画データを目視で確認し必要画像を選定する場合、写真や図面の数が多く作業に時間を要するが、AI による画像検出を行うことにより目視での作業時間が削減されることから、工数およびコストの削減を目指す。

(2) 使用機器・技術

(ア) AI 画像検出に使用する静止画データ

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する。なお、全体を網羅する静止画の取得には、グリッド撮影機能を使用する。図 2.1-9 グリッド撮影のイメージに示す。

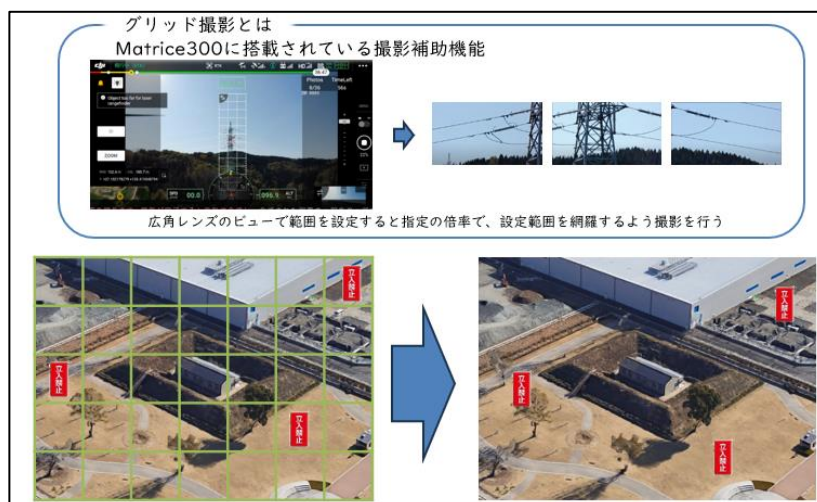


図 2.1-9 グリッド撮影のイメージ

(イ) AI 画像検出に用いる AI 技術

1) AI 画像検出用の学習モデル

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。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) と検出精度を比較した。

(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

(a) 一般データからの学習モデル

一般データからの学習モデルを用いた AI 画像検出では、下記対象物が映った(株)シャープ保有の



汎用的に使用可能な画像データ 506 枚 (

図 2.1-10 学習データイメージ) を学習データとして用いて AI 学習を行うことで学習モデルを作成し、AI 画像検出を実施した。なお、AI 学習に要した時間は約 1.2 時間であった。

【学習データの一例】

- ・ 危険区域の警告札
- ・ 避雷装置 (一般形状/電柱型)
- ・ 消火器 (ボックスなし)

- ・ 消化設備（消火器ボックス/消火栓）
- ・ 貯水槽
- ・ ドラム缶
- ・ ボイラー



図 2.1-10 学習データイメージ

本検証では、AI 画像検出の検証結果を定量的に測るために、一般データからの学習モデルに対する AI 検出精度の評価を実施した。なお、本検証では、実証方法の詳細で記載のとおり、ドローンによるグリッド撮影（カメラズーム倍率：15 倍）という撮影手法を用いた。

(b) 現場データからの学習モデル

現場データからの学習モデルを用いた AI 画像検出では、現場にて撮影した画像データ 1,081 枚を学習データとして用いて AI 学習を行うことで学習モデルを作成し、AI 画像検出を実施した。なお、AI 学習に要した時間は約 2.5 時間であった。現場データからの AI 学習に要した時間には、一般データからの AI 学習に要した時間は含まれず、AI 学習の時間に違いがある理由としては、学習データの枚数に違いがあるという点に加え、現場データのパラメータ数が多いという点が挙げられる。（パラメータ数については 0 にて解説している。）

本検証では、AI 画像検出の検証結果を定量的に測るために、現場データからの学習モデルに対する AI 検出精度の評価を実施した。なお、本検証においても、(a)と同様にドローンによるグリッド撮影（カメラズーム倍率：15 倍）を用いた。

2) AI 画像検出の実施フロー

(a)、(b)ともに、図 2.1-11 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。

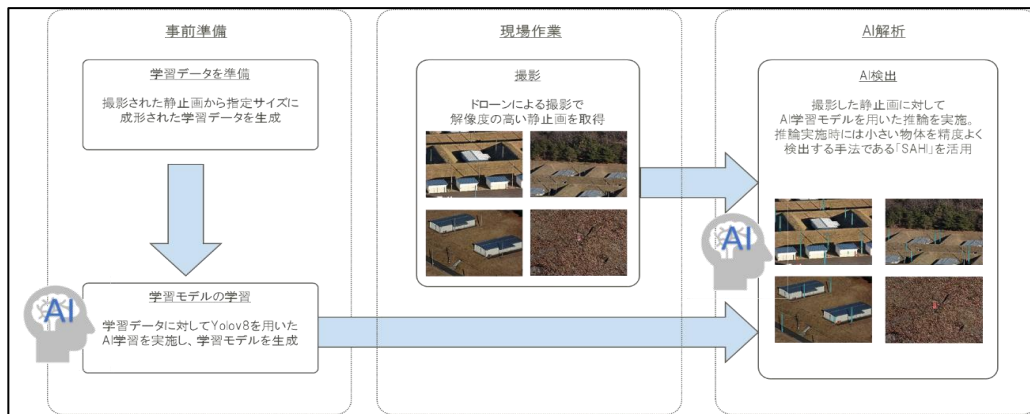


図 2.1-11 AI 画像検出の実施フロー



図 2.1-12 検出結果のイメージ

2.1.4 図面の AI 差分解析

目視もしくは図面による検査を代替する検査手法として図面の AI 差分解析が適用可能かを確認する。実証項目「④図面の AI 差分解析」では、表 2.2-1 に示した通り、次の 2 つの実施内容を行う。

- 1) 紙図面・点群データの電子図面化
- 2) 電子化図面の AI による差分解析

2.1.4.1 紙図面・点群データの電子図面化

(1) 実施方法

既存の紙図面に加え、実証項目「②点群データによる計測」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する。

2次元図面の場合、紙図面の電子図面化では既存図面に従い細部までのデータ作成を行えるが、点群データの電子図面化ではレーザスキャナの死角になり点群自体が取得できない箇所や内部構造までは点群が取得できないことがある。このため、点群データ取得範囲は、外側から目視が可能な範囲に限定することを前提としている。

3次元図面（BIM モデル^{※1}）は、LOD200^{※2}を前提としてデータの作成を行う。この際、検査対象となる箇所が LOD200 では再現されない場合は、建物の基礎構造に加え、一部オブジェクトを追加して、作成するものとする。例えば、対象箇所が照明設備や標識などでは、オブジェクト追加が考えられる。

※1 BIM モデル（BIM により作成した建造物の 3次元モデルのデータ。BIM：Building Information Modeling。建造物の 3次元情報の他、属性情報なども加えてモデルを構築する手法）

※2 LOD200 (LOD : Level of Detail、BIM モデルの詳細レベル。LOD200 は、3 次元構造物の外形的な構造形式が分かる程度の詳細度)

なお、作成した 2 次元、3 次元図面は、実証項目「⑤点検記録アプリによる可視化」でも活用する。検査箇所や取得した静止画も図面上に可視化されるため、検査を行う上で、正確さや検査漏れなどの防止に役立つ。

(2) 使用機器・技術

電子図面化に使用するソフトウェアは汎用的なものを使用するが、2 次元図面あるいは 3 次元図面 (BIM モデル) を作成する場合で異なる。以下に使用したソフトウェアの機能と仕様を説明する。

(ア) 2 次元図面作成ソフトウェア (AutoCAD)

本技術実証では、主に 2 次元図面の作成に利用する。AutoCAD の仕様を表 2.1-12AutoCAD の仕様に示す。

表 2.1-12AutoCAD の仕様

名称	AutoCAD
開発業者	Autodesk, Inc.
製品ロゴ	 出典 : Autodesk HP [https://www.autodesk.co.jp/products/autocad/overview?term=1-YEAR&tab=subscription]
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・2 次元/3 次元設計をスピードアップ ・チームやデバイス間のコラボレーション ・正確性と互換性を確保
機能	<ul style="list-style-type: none"> ・2 次元/3 次元設計と自動化の充実した機能 ・Web 版 AutoCAD でどこでも作業 (付属製品) ・モバイル版 AutoCAD で外出先でも図面にアクセス (付属製品)

(イ) 3 次元図面作成ソフトウェア (Revit)

本技術実証では、主に 3 次元図面 (BIM モデル) の作成に利用する。Revit の仕様を、表 2.1-13Revit の仕様に示す。

表 2.1-13Revit の仕様

名称	Revit
開発業者	Autodesk, Inc.

製品ロゴ	 <p>出典：Autodesk HP [https://www.autodesk.co.jp/products/autocad/overview?term=1-YEAR&tab=subscription]</p>
機能	<ul style="list-style-type: none"> ・設計意図を構想して開発 ・チームで常に同じ認識を共有 ・すべての人にとって優れた建物を実現
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・BIM/CIM モデルの作成するための機能が充実 ・建築や土木分野で構造物などの設計や施工に特化 ・BIM/CIM モデルから 2 次元図面の作成が可能

2.1.4.2 電子化図面の AI による差分解析

(1) 実施方法

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・判別する。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する。差分解析のイメージを図 2.1-13 に示す。



図 2.1-13 変更点の差分解析イメージ

出典：MIIDEL 製品ページ

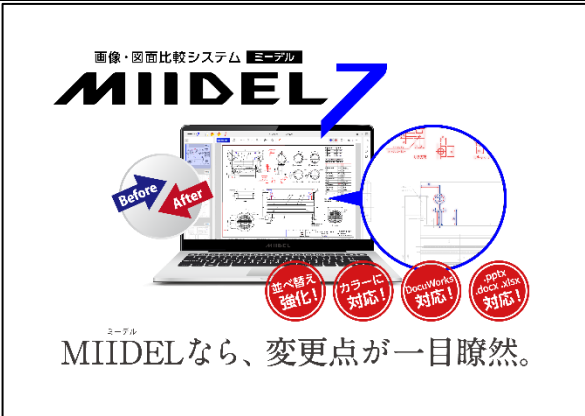
(<https://www.kyoei.co.jp/fks/search/productlist/miidel.html>)

(2) 使用機器・技術

AI 差分解析用のソフトウェア（MIIDEL7）の仕様を

表 2.1-14 MIIDEL7 の仕様を示す。MIIDEL7 は、複合 AI（複数のモデルやアルゴリズムを一つの AI に組み込んだ手法）を搭載した画像・図面比較システムである。ただし、図面データの拡張子を読み込むことはできないため、PDF、JPEG などの形式に置き換えて、画像比較として差解析する。

表 2.1-14 MIIDEL7 の仕様

名称	MIIDEL7
開発業者	株式会社 TRIART
イメージ	 <p>出典：株式会社 TRIART HP</p>
概要	書類の新旧比較や修正点チェックの作業において、目視では見落としがちな変更箇所も独自 AI で瞬時に検出して差分を色別表示し、作業効率を大幅に向上させる「画像・図面比較システム」
特徴	<p>正確に違いを認識 細かい変更点も認識し、変更点を色別表示</p> <p>誰でも簡単に比較 数千枚の資料も一括で比較し、閲覧は画像を選択するだけのシンプル操作</p> <p>TIFF や PDF、画像も自動補正 写真や図面も比較可能、サイズ自動補正機能搭載</p> <p>画像比較 2枚の画像の差異を比較し、目視で確認し難い図面線の太さなどの細かい変更点も抽出可能</p> <p>複数枚同時比較 数百枚の大量ページや A3/A4 などサイズが異なる資料も一括比較可能</p> <p>古い画像も比較 PDF・画像であれば古い資料でも比較可能。スキャンする際に歪んだ図面も補正可能</p>

2.1.5 点検記録アプリによる可視化

従来の検査で行われる図面の確認や記録の作成に、点検記録アプリによる代替が可能か確認する。

(1) 実施方法

実証項目「②点群データによる計測」や「④図面の AI 差分解析」で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する。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+ を用いる。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、検査結果等を確認する。以下に各アプリでの実施方法を記す。

(ア) 点検対象と点検箇所の可視化表示 (Pinspect)

デジスキャン等で作成された 2 次元図面や 3 次元図面を読み込み、火薬類取扱施設等の安全措置（表示、設置状況、爆発等防止措置）等の点検対象や場所を画面表示し、検査箇所へ「ピン」（画面上に記録されるデジタル付箋）を設置する。これらの表示データをクラウド保管し、遠隔地でも検査場所の確認や検査内容の指示が可能か検証する。Pinspect の操作画面例を図 2.1-14 Pinspect 操作画面イメージに示す。

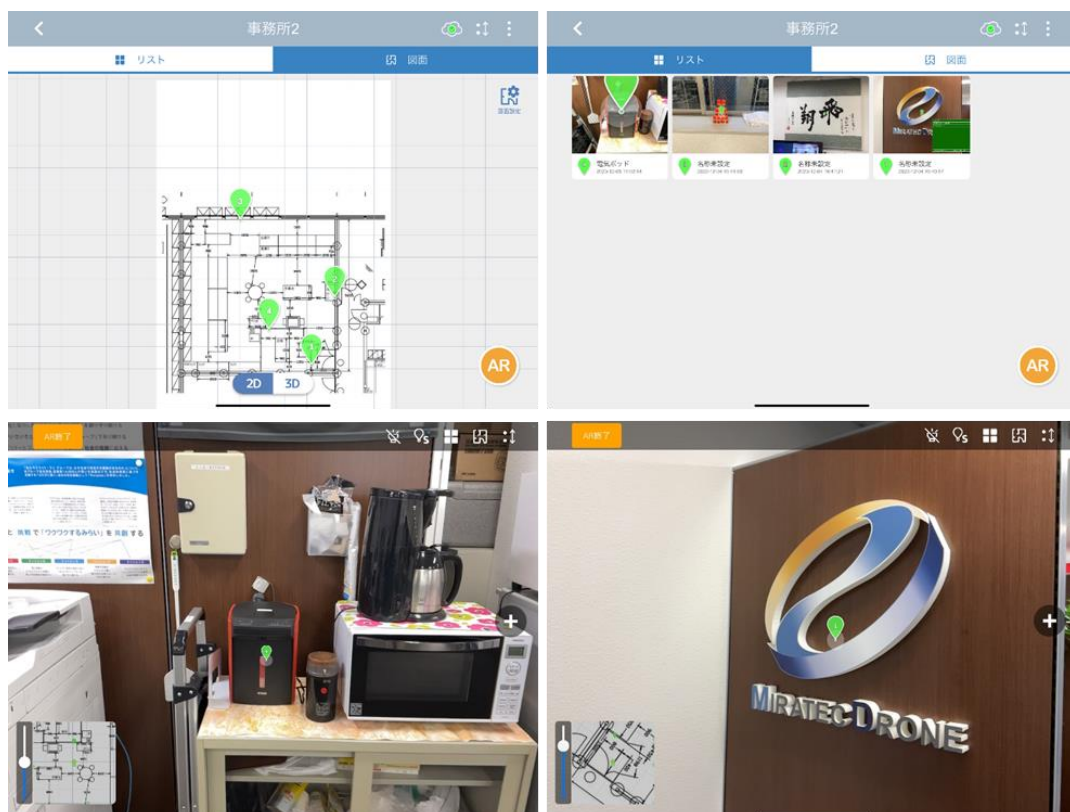


図 2.1-14 Pinspect 操作画面イメージ

(イ) 点検リストと点検記録作成 (Pinspect Check+)

Pinspect により可視化した点検対象や点検箇所の表示データを用いて、点検箇所を Pinspect

Check+に登録し点検項目リストを作成する。作成した点検項目リストに従い、各種の検査を行った後、その結果の記録やレポート形式での出力も行う。Pinspect 同様に遠隔地でも点検リストの確認や指示、検査結果やレポートの確認が可能か検証する。Pinspect Check+の画面例を図 2.1-15Pinspect Check+の操作画面（点検リスト）イメージに示す。

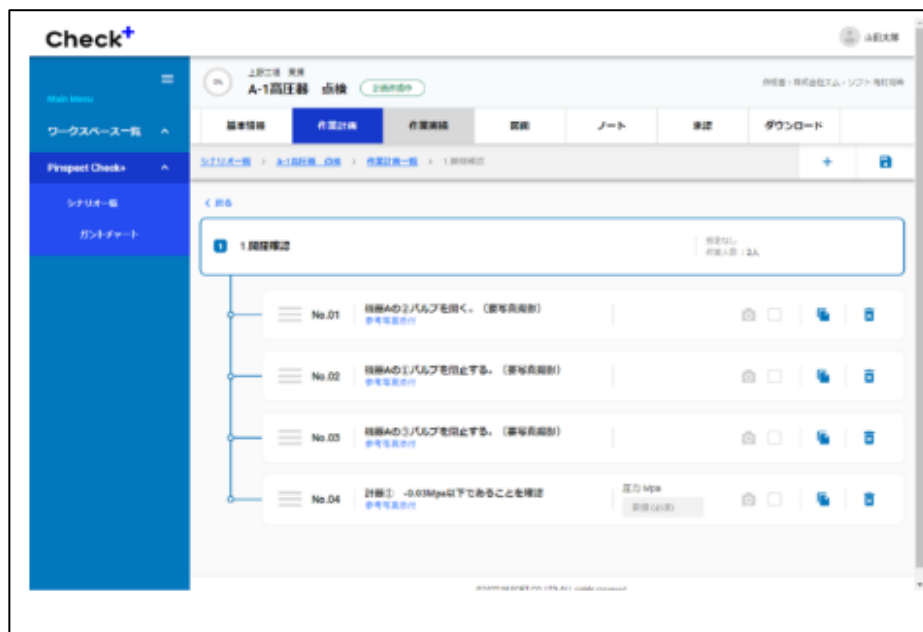


図 2.1-15Pinspect Check+の操作画面（点検リスト）イメージ
（引用：株式会社エム・ソフト Pinspect Check+ ホームページ）

（2）使用機器・技術

（ア）Pinspect（株式会社エム・ソフト製）

本製品は、検査・点検箇所をAR（拡張現実）で記録、可視化するアプリである。

表 2.1-15Pinspect の仕様を示す。対象箇所の三次元座標を取得し、デジタル付箋（ピン）として空間上に可視化する。また写真やメモを座標と紐付けて保存することで、現場情報を図面や EXCEL 形式のレポートとして出力することが可能となる。

例えば、iPad のカメラで AR 空間（3 次元座標）に点検ポイントを表示し、ピンを設置（写真や記事含む）することで、別の点検者は AR 空間に配置されたピンを確認でき、点検箇所を間違えることなく点検することが可能となる。

また、記録したピンは、クラウド経由で他のユーザーと共有する、外部の BIM/CIM、点群データ等に反映することも可能なため、建設・設備メンテナンス業における報告業務の省力化、生産性向上の実現が可能だと考える。

Pinspect の機能について、点検ピンの設置例を図 2.1-16 ピン設置イメージ（写真・メモ保存）、点検ピンの表示例を図 2.1-17 点検ピン表示例（3次元座標）、クラウドでの共有機能を図 2.1-18 クラウド共有機能に示す。

表 2.1-15 Pinspect の仕様

名称	株式会社エム・ソフト Pinspect (ピンスペクト)
開発業者	 伝わる 画像技術 出典：株式会社エム・ソフト https://www.msoft.co.jp/service/pinspect.html
製品ロゴ	
特徴	検査・点検箇所を AR（拡張現実）で記録、可視化を行い建設、設備メンテナンス業における報告業務の省力化、生産性向上を実現する
機能	<ul style="list-style-type: none"> ・対象箇所の 3 次元座標を取得し、デジタル付箋（ピン）として空間上に可視化する。 ・写真やメモを座標と紐付けて保存することで、現場情報を図面や EXCEL 形式のレポートとして出力する。 <ul style="list-style-type: none"> ・記録したピンは、クラウド経由で他のユーザーと共有したり外部の BIM/CIM、点群データ等に反映することが可能。

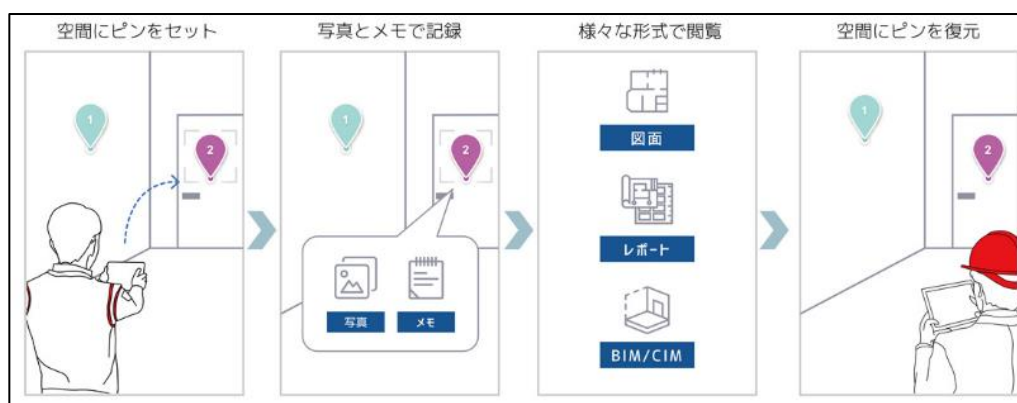


図 2.1-16 ピン設置イメージ（写真・メモ保存）
 （引用：株式会社エム・ソフト デジスキャン ホームページ）

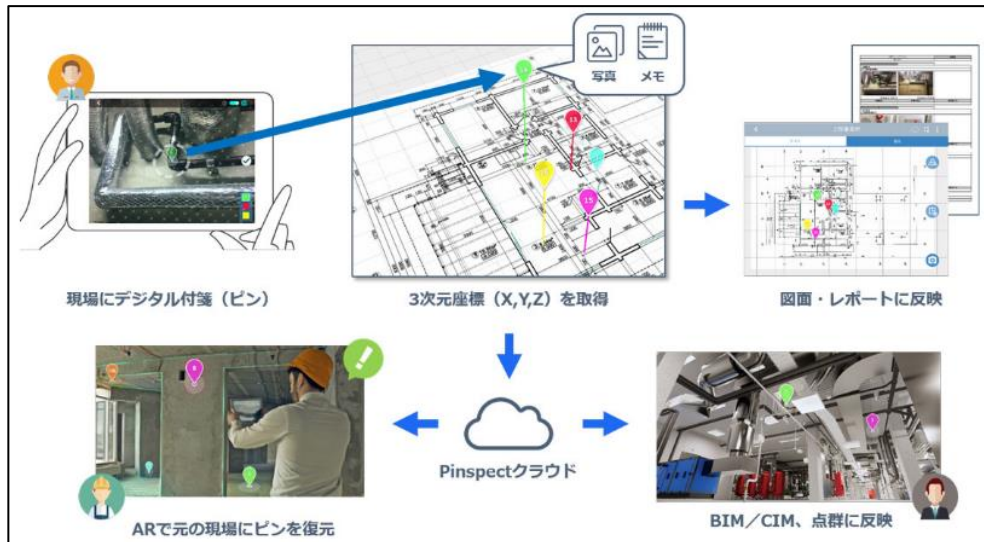


図 2.1-17 点検ピン表示例（3次元座標）
 （引用：株式会社エム・ソフト Pinspect ホームページ）

Point 1

**点検箇所を
図面・報告書に自動反映**

ピンの3次元座標を図面と報告書に
自動反映、書き込み不要！

Point 2

**クラウド共有機能で
作業効率アップ！**

点検情報をみんなでクラウド共有、
共同作業を実現！

Point 3

現場の空間にデジタル付箋

検査・点検箇所を
デジタル付箋として
可視化、いつでも復元！

図 2.1-18 クラウド共有機能
 （引用：株式会社エム・ソフト デジスキャン ホームページ）

(イ) Pinspect Check+（株式会社エム・ソフト製）

本製品は、設備点検やメンテナンスにおける作業手順をチェックリスト化し、作業の抜け漏れ防止、記録管理の効率化を実現するクラウドサービスである。作業手順とチェックリストを一体化した作業計画の作成、iPad アプリを使った点検記録、作業実績の確認や電子承認・報告書の自動出力等が可能となる。表 2.1-16 Pinspect Check+の仕様を示す。

点検業務を効率化させるため、従来、紙や Excel で作成していた作業手順書やチェックリストを Web 上から簡単作成する。現場での点検作業は iPad の専用アプリで直感的に実行可能で、記録の確認や承認も、Web 上からすぐに完了することにより、点検業務のペーパーレス化と、日々の作業を効率化が可能だと考える。

Web 画面からの操作で、作業手順やチェックリストを直感的に作成することが可能であり、点検管理者による確認・承認手続もスムーズに行える。作業手順とチェックリストが一体化されているため、管理・運用が容易で、作業手順には図面の添付、参考写真の登録ができるため現場管理者および作業員双方の作業効率化を図ることが可能となる。チェックリストのイメージを図 2.1-19 チェックリスト作成画面に示す。

表 2.1-16 Pinspect Check+の仕様

名称	株式会社エム・ソフト Pinspect Check+
開発業者	 M・SOFT 伝わる 画像技術 出典：株式会社エム・ソフト https://pinspect.jp/checkplus/
製品ロゴ	
特徴	Check+は、作業手順・チェックリストをノーコードでデジタル化し Web と iPad で作業・記録を行えるクラウドサービス。従来、紙で行っていたプラント・工場の定修をペーパーレス化し、作業・記録の抜け漏れ防止、作業員の即戦力化、情報共有スピード向が図れます。
機能	<ul style="list-style-type: none">・iPad アプリを使った点検の実施記録・作業手順とチェックリストを一体化した作業計画の作成・作業実績の確認や電子承認・報告書の自動出力などが可能

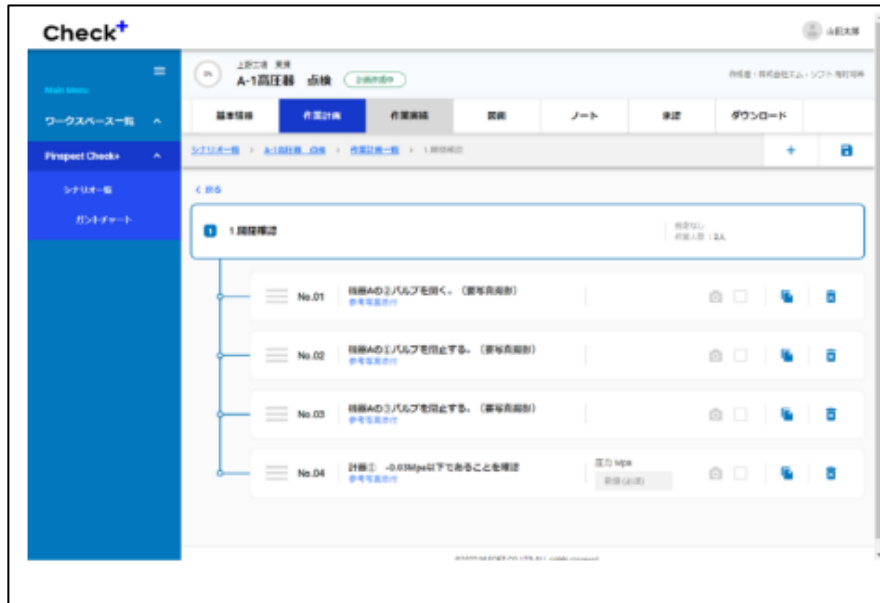


図 2.1-19 チェックリスト作成画面

(引用：株式会社エム・ソフト Pinspect Check+ ホームページ)

作業手順とチェックリストが一体化しているため、手順を見ながら点検し、そのままチェックリストに記録することが可能であり、「作業者によって検査手順や記録方法のばらつきがある」といった問題を解決することができる。これにより記録漏れの防止と作業の属人化解消を実現し、点検品質の向上へと繋がる可能性がある。図 2.1-20 iPad での点検結果画面を示す。



図 2.1-20 iPad での点検結果画面

(引用：株式会社エム・ソフト Pinspect Check+ ホームページ)

記録はクラウド上に保存されるため、紙の保管や転記作業が不要となる。記録の管理が容易になること
の他、進捗管理、トラブル発生時の原因分析、データの傾向分析など、データを有効活用することや報
告書をワンクリックで出力することが可能なため、事務作業の大幅削減が期待できる。図 2.1-21 クラウ
ドによるデータ管理のイメージを示す。

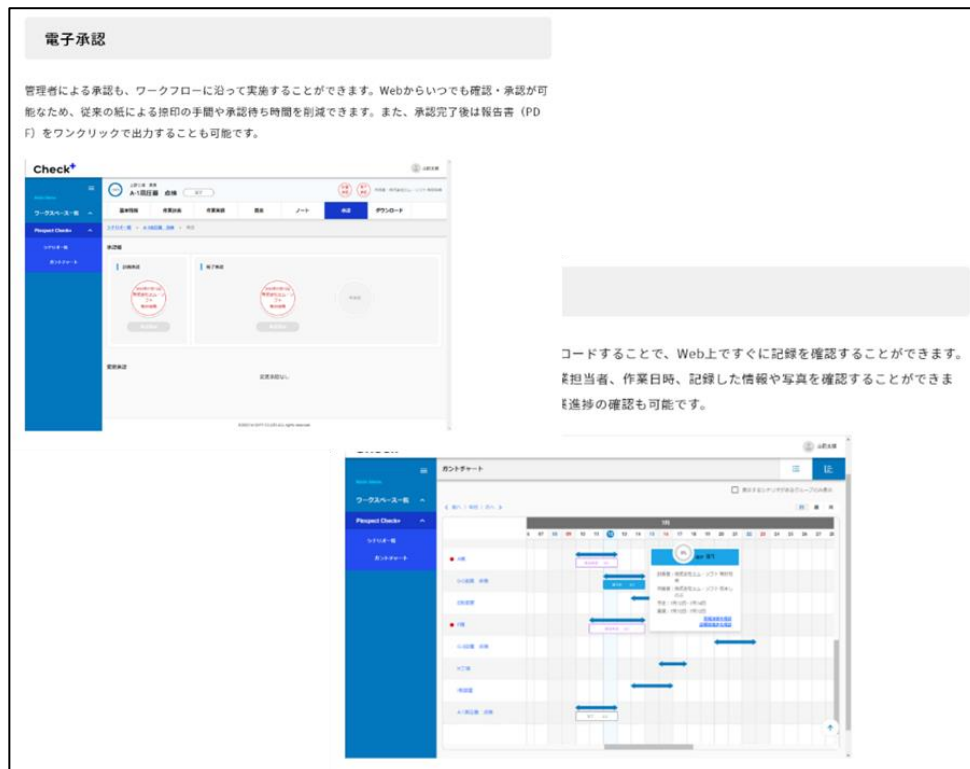


図 2.1-21 クラウドによるデータ管理のイメージ
(引用：株式会社エム・ソフト Pinspect Check+ ホームページ)

2.2 実施場所等

2.2.1 実証項目による実施場所

本技術実証では、「1. 3 全体像」に示すとおり、検証する以下の実証項目①～⑤は、各法令（別表第一～第四）の検査対象毎に異なる。

- ①リアルタイム配信
- ②点群データによる計測
- ③AIによる画像検出
- ④図面のAI差分解析
- ⑤点検記録アプリによる可視化

検査対象は、火薬類製造施設内の各工室や火薬庫で必ずしも共通ではなく、工室や火薬庫等の種類によって実証項目も異なる。このため本技術実証の実施場所には、検査対象毎の施設や環境を模した様々な場所（工室や火薬庫、事務所、工場敷地や野外広場等）を設定している。

検査対象毎の実施場所と実証項目を、表 2.2-1 対象法令と実施場所（別表第一）～表 2.2-4 対象法令と実施場所（別表第四）に整理した。

なお、表中の実施場所としては、以下の 7 か所の施設内や野外広場を利用した。各実施場所の詳細は、2.2.2 に記載した。

- (A) 火薬メーカー工場（以下、「火薬類製造施設」と記す）
- (B) アンリツカスタマーサポート株式会社 一号電波暗室
- (C) 能勢高原ドローンフィールド
- (D) ミライト・ワン池袋技術センタ
- (E) 新宇商店施設
- (F) 奈良市内フィールド
- (G) ミラテグドローン・神戸事業所

表 2.2-1 対象法令と実施場所（別表第一）

A: 火薬メーカー工場、B: アンリツ、C: 能勢高原、D: ミライト・ワン池袋、E: 新宇商店、F: 奈良市内フィールド、G: ミラテグドローン神戸

対象法令 (別表第一)	危険工室 ^{※A}	火薬類一時置 場 ^{※A}	試験場 ^{※A}	火薬工場敷地 外周 ^{※A}	1号電波暗 室 ^{※B}	ドローンフィー ルド ^{※C}	技術センタ ^{※D}	火薬類取扱所 ^{※E}	火工所 ^{※E}	地上式2級 火薬庫 ^{※F}
1 製造設備が定置式製造設備であって、火薬類の製造作業を行う製造施設の場合										
1-1	①⑤	①⑤		①③		③				
1-2	①⑤	①⑤		①						
1-3	①⑤	①⑤	①②⑤			②④				
1-6				①③						
1-7	①⑤							①⑤	①⑤	①⑤
1-8	①⑤	①⑤	①②⑤							
1-13	①⑤	①⑤	①⑤	①③		③				
1-13の2	①②⑤						①②⑤	①⑤	①⑤	①⑤
1-14	①⑤	①⑤	①⑤	①③						
1-15	①⑤							①⑤	①⑤	①⑤
1-15の2	①⑤							①⑤	①⑤	①⑤
1-15の3	①⑤							①⑤	①⑤	①⑤
1-16	①⑤							①⑤	①⑤	①⑤
1-16の2	①⑤							①⑤	①⑤	①⑤
1-16の3	①⑤							①⑤	①⑤	①⑤
1-16の4	①⑤							①⑤	①⑤	①⑤
1-18	①⑤									
1-20	①⑤									
1-22	①⑤							①⑤	①⑤	①⑤
1-24	①⑤	①⑤		①③						
1-25	①⑤									
1-30	①⑤							①⑤	①⑤	①⑤
1-35	①⑤					①②⑤			①⑤	
1-38				①						

1-38の3	①⑤	①⑤	①⑤						
1-41	①⑤	①⑤	①②⑤						
3 製造設備が移動式製造設備である製造施設の場合									
3-1	①⑤	①⑤		①③		③			
3-3	①⑤	①⑤	①②⑤			②④			
3-8				①③					
3-33				①					
3-33の3	①⑤	①⑤	①⑤						
(※1) ドローン飛行を伴う実証項目に必要な電波測定				①②③					

(※1) 項目 3.2 で後述するドローンの飛行に伴う安全性評価の為に使用する。

表 2.2-2 対象法令と実施場所（別表第二）

A: 火薬メーカー工場、B: アンリツ、C: 能勢高原、D: ミライト・ワン池袋、E: 新宇商店、F: 奈良市内フィールド、G: ミラテグドローン神戸

対象法令 (別表第二)	危険工室 ^{※A}	火薬類一時 置場 ^{※A}	試験場 ^{※A}	火薬工場敷 地外周 ^{※A}	1号電波暗 室 ^{※B}	ドローンフィー ルド ^{※C}	技術センタ ^{※D}	火薬類取扱 所 ^{※E}	火工所 ^{※E}	地上式2級火 薬庫 ^{※F}
2 地上式火薬庫の基準										
2-1	①⑤	①⑤	①⑤							
2-2	①⑤	①⑤						①⑤	①⑤	①⑤
2-3								①⑤	①⑤	①⑤
2-4		①⑤						①⑤	①⑤	①⑤
2-5								①⑤	①②④⑤	①⑤
2-6		②④						①⑤	①⑤	①②⑤
2-7								①⑤	①⑤	①⑤
2-8								①⑤	①⑤	①⑤
2-11		①⑤						①⑤	①⑤	①⑤
2-12		①⑤		①③						
2-14	①⑤	①⑤	①②⑤	①						
2-15		①⑤						①⑤	①⑤	①⑤
2-16								①⑤	①⑤	①⑤
6 地上式二級火薬庫の基準										
6-2								①⑤	①⑤	①⑤
6-4								①⑤	①⑤	①⑤
6-5		①⑤		①③						
(※1) ドローン飛行を伴う実証項目に必要な電波測定					①②③					

(※1) 項目 3.2 で後述するドローンの飛行に伴う安全性評価の為に使用する。

表 2.2-3 対象法令と実施場所（別表第三）

A: 火薬メーカー工場、B: アンリツ、C: 能勢高原、D: ミライト・ワン池袋、E: 新宇商店、F: 奈良市内フィールド、G: ミラテグドローン神戸

対象法令 (別表第三)	危険工室※A	火薬類一時置 場※A	試験場※A	火薬工場敷 地外周※A	1号電波暗室 ※B	ドローンフィール ド※C	技術センタ※D	火薬類取扱所 ※E	火工所※E	地上式2級火 薬庫※F
1 製造設備が定置式製造設備であって、火薬類の製造作業を行う製造施設の場合										
1-1	①⑤	①⑤		①③		③		①⑤	①⑤	①⑤
1-2	①⑤	①⑤		①				①⑤	①⑤	①⑤
1-3	①⑤	①⑤	①②⑤			②④				
1-6				①③						
1-7	①⑤	①⑤	①⑤					①⑤	①⑤	①⑤
1-11	①⑤	①⑤	①⑤					①⑤	①⑤	①⑤
1-13	①⑤		①⑤	①③		③	①⑤			
1-13の2	①②⑤						②	①⑤	①⑤	①⑤
1-14	①⑤		①⑤	①③						
1-15	①⑤							①⑤	①⑤	①⑤
1-15の2	①⑤							①⑤	①⑤	①⑤
1-15の3	①⑤							①⑤	①⑤	①⑤
1-16	①⑤							①⑤	①⑤	①⑤
1-16の2	①⑤							①⑤	①⑤	①⑤
1-16の3	①⑤							①⑤	①⑤	①⑤
1-16の4	①⑤							①⑤	①⑤	①⑤
1-18	①⑤									
1-20	①⑤									
1-22	①⑤							①⑤	①⑤	①⑤
1-24	①⑤			①③						
1-25	①⑤									
1-30	①⑤							①⑤	①⑤	①⑤
1-35	①⑤					①②⑤			①⑤	

1-38				①						
1-38の3	①⑤	①⑤								
1-41	①⑤	①⑤	①②⑤							
3 製造設備が移動式製造設備である製造施設の場合										
3-1	①⑤	①⑤		①③		③				
3-3	①⑤	①⑤	①②⑤			②④				
3-8				①③						
3-33				①						
3-33の3	①⑤	①⑤	①⑤							
(※1) ドローン飛行を伴う実証項目に必要な電波測定					①②③					

(※1) 項目 3.2 で後述するドローンの飛行に伴う安全性評価の為に使用する。

表 2.2-4 対象法令と実施場所（別表第四）

A: 火薬メーカー工場、B: アンリツ、C: 能勢高原、D: ミライト・ワン池袋、E: 新宇商店、F: 奈良市内フィールド、G: ミラテグドローン神戸

対象法令 (別表第四)	危険工室※A	火薬類一時置 場※A	試験場※A	火薬工場敷地 外周※A	1号電波暗室 ※B	ドローンフィー ルド※C	技術センタ※D	火薬類取扱 所※E	火工所※E	地上式2級火薬 庫※F
2 地上式一級火薬庫の基準										
2-1	①⑤	①⑤	①⑤					①⑤	①⑤	①⑤
2-2	①⑤	①⑤	①⑤					①⑤	①⑤	①⑤
2-3	①⑤	①⑤	①⑤					①⑤	①⑤	①⑤
2-4	①⑤	①⑤	①⑤					①⑤	①⑤	①⑤
2-5	①⑤							①⑤	①②④⑤	①⑤
2-6		②④						①⑤	①⑤	①②⑤
2-7								①⑤	①⑤	①⑤
2-8								①⑤	①⑤	①⑤
2-1 1		①⑤						①⑤	①⑤	①⑤
2-1 2	①⑤	①⑤		①③						
2-1 4	①⑤	①⑤	①②⑤	①						
2-1 5	①⑤							①⑤	①⑤	①⑤
2-1 6								①⑤	①⑤	①⑤
6 地上式二級火薬庫の基準										
6-2								①⑤	①⑤	①⑤
6-4								①⑤	①⑤	①⑤
6-5				①③				①⑤	①⑤	①⑤
(※1) ドローン飛行を伴う実証項目に必要となる電波測定					①②③					

(※1) 項目 3.2 で後述するドローンの飛行に伴う安全性評価の為に使用する。

2.2.2 実施場所の詳細

(A) 火薬類製造施設（火薬メーカー・工場）

危険工室、火薬類一時置場、試験場、火薬工場敷地外周等の火薬類を取り扱う工場の一部の施設で実証を行った。実際の火薬類の製造・保管設備であることから、適用できる実証項目も多く、有効な検証結果が得られる場所として設定した。これらの実施場所の外観を図 2.2-1 火薬類製造施設内での実証場所に示す。

映像やデータ取得に際しドローンの飛行を伴う実証項目（①、②）では、前述したとおり、工場の敷地内を自由に飛行させることはできないため、ドローンの離陸と着陸場所を図 2.2-2 火薬類製造施設敷地外周におけるドローン離発着場所に示す。工場敷地外周の 3 か所（以下、離着陸場所を、「ドローン飛行 1」、「ドローン飛行 2」、「ドローン飛行 3」と記す）に設定した。



図 2.2-1 火薬類製造施設内での実証場所

(左上) 危険工室、(右上) 火薬類一時置場、(左下) 試験場、(右下) 工場敷地外周



図 2.2-2 火薬類製造施設敷地外周におけるドローン離発着場所

(B) アンリツカスタマーサポート株式会社 一号電波暗室

火薬などの危険物を扱う施設では発火、爆発などの危険が伴うため、ドローンの飛行を伴う実証項目（①、②、③）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必要がある。このため、電波暗室を用いて電界強度と周波数の測定を行うことにより安全性を確認した。図 2.2-3 電界強度の測定状況を示す。

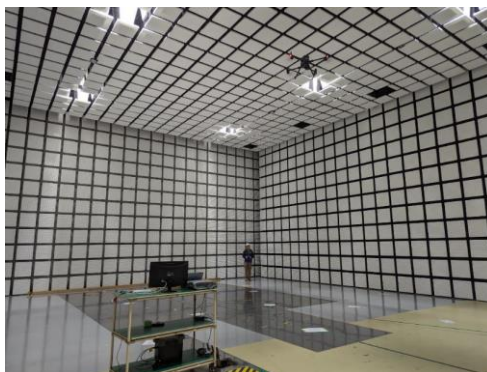


図 2.2-3 電界強度の測定状況

(C) 株式会社ふるさと創成研究開発機構・能勢高原ドローンフィールド

火薬類製造施設敷地内では安全上の観点等から技術実証の実施上の制限があることで検証に十分なデータが得られないドローンを用いる実証項目に対し、模擬的に対象物のデータを取得するため、ドローンフィールドにて実施した。図 2.2-4 ドローンフィールド（実証場所（左）と模擬対象物（右））を示す。



図 2.2-4 ドローンフィールド（実証場所（左）と模擬対象物（右））

(D) 株式会社ミライト・ワン・池袋技術センター

火薬類製造施設内では、タブレットやカメラ等のデジタル機器の持込制限等により物理的に検査対象のデータが取得できない実証項目（①、②）を補完するため、類似する検査対象（消化設備、スプリンクラー）がある、技術センターを利用して実施した。図 2.2-5 技術センター（実証場所（左）と類似検査対象物スプリンクラー（右））を示す。



図 2.2-5 技術センタ（実証場所（左）と類似検査対象物スプリンクラー（右））

(E) 株式会社新宇商店・火薬類取扱所および火工所

火薬類製造施設内では、デジタル機器の持込制限等により物理的に検査対象のデータが取得できない実証項目を補完するため、火薬類製造施設以外で個別に設けられている火薬類取扱所や火工所を類似の検査対象として実施した。図 2.2-6 火薬類製造施設の類似設備（火薬類取扱所（左）、火工所（中・右））を示す。



図 2.2-6 火薬類製造施設の類似設備（火薬類取扱所（左）、火工所（中・右））

(F) 奈良市内フィールド・地上式 2 級火薬庫

(E) 同様に、火薬類製造施設以外で個別に設置した火薬庫を類似の検査対象として実施した。図 2.2-7 火薬類製造施設と類似施設（地上式 2 級火薬庫（左）、データ取得（右））を示す。



図 2.2-7 火薬類製造施設と類似施設（地上式 2 級火薬庫（左）、データ取得（右））

2.3 実施条件等

本技術実証においては、2.1の各項目で示すとおり、複数の計測機器を用いて実証を行うが、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で実施することを前提とするため、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する。

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としての活用が可能となる。

また、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う。

詳細な離隔距離の算出方法については、実証項目「①リアルタイム配信」(3.2.1(2)(イ))で後述する。ドローンの飛行における実施条件は以下となる。

- 1) 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。
- 2) 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。
- 3) ドローンの飛行に関しては、国土交通省航空局の許可・承認を得ていること。
- 4) 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②(令和4年12月5日版)¹」に従った。
- 5) ドローンの飛行高度は禁止空域の関係から150mまでとした。

¹ <https://www.mlit.go.jp/common/001521378.pdf>

3 実証の結果

3.1 結果の評価ポイント・方法

以下の実証項目にて技術実証を行った対象法令・検査対象を表 3.1-1 に整理し再掲した。

- ①リアルタイム配信
- ②点群データによる計測
- ③AIによる画像検出
- ④図面の AI 差分解析
- ⑤点検記録アプリによる可視化

「①リアルタイム配信」では、ドローン搭載カメラと携帯型カメラでは、双方の手法による撮影可能箇所が異なることから、技術実証の検査対象が異なる。また、「①リアルタイム配信」、「②点群データによる計測」、「④図面の AI 差分解析」では、完成検査や保安検査の一方だけの検査対象で検証を行う場合もある。以下では、実証項目毎の評価ポイント・方法を記す。なお、実証の評価にあたっては、可能な範囲で検査員へのヒアリングも行った。

表 3.1-1 実証項目と対象法令・検査対象一覧

※a 完成検査のみ、※b 保安検査のみ ○ 実証項目、△ 検査員へのヒアリングなし

対象法令	検査対象	実証項目					
		①リアルタイム配信		②点群データによる計測	③AIによる画像検出	④図面の AI 差分解析	⑤点検記録アプリによる可視化
		ドローンカメラ	携帯型カメラ				
別表第一 および 別表第三	1-1	危険区域の警告札掲示の状況	○	○		○	
	1-2	危険区域の施設種類	○	○			
	1-3	延焼防止措置（測定、又は作動試験等）		○	○		○
	1-6	ボイラー・煙突の有無	○	○		○	
	1-7	工室の耐火構造・材質（及び測定）	○	○			
	1-8（別表第一のみ）	土堤・防爆壁の構造（及び測定）	○	○※a	○※a		
	1-13	消火設備の設置	○				○
	1-13の2	発火・爆発防止措置（測定、及び作動試験等）			○		○
	1-14	消火設備の設置	○	○			
	1-15	窓・出口の構造（避難構造）		○			○
	1-15の2	窓・扉の金具材質（摩擦による爆発・発火防止）		○			○
	1-15の3	窓の直射日光防止構造		○			○
	1-16	工室の内面・剥離防止措置		○			○
1-16の2	工室の内面・火薬類浸透等防止措置		○			○	

	1-16の3	工室の床面（落下による爆発・発火対策）		○				○
	1-16の4	工室の床面の材質		○				○
	1-18	原動機・温湿調整装置有無		○				○
	1-20	工室の暖房装置の爆発・防火措置		○				○
	1-22	工室・火薬類一時置場の照明設備の防爆装置（漏電、可燃ガス、粉塵防止）		○				○
	1-24	数量の掲示の状況、記載事項		○				
	1-25	木造建築物の耐火措置		○				
	1-30	工室の静電気による爆発・発火防止措置（又は測定）		○				○
	1-35	乾燥台の落下対策・砂塵混入防止措置（又は測定）		○※a	○			
	1-38	爆発試験場等の危険区域内設	○	○				
	1-38の3	周囲の火災防止措置（又は作動試験等）	○	○				
	1-41	運搬通路の路面、勾配（又は測定）		○※a	○			
	3-1	区域設定・警告札掲示の状況	○	○		○		
	3-3	延焼防止措置（測定、又は作動試験等）		○	○		○※a	
	3-8	ボイラー・煙突の有無	○	○		○		
	3-33	廃棄焼却場の設置場所	○	○				
	3-33の3	周囲の火災防止措置（又は作動試験等）	○	○				
別表第二 および 別表第四	2-1	火薬庫の設置場所		△				
	2-2	火薬庫の構造・材質等		△				
	2-3	火薬庫の壁		△※b				△
	2-4	火薬庫の入口扉（盗難防止措置）		△				△
	2-5	火薬庫の窓		△	△※a		△※a	△
	2-6	火薬庫の床高さ・通気孔（及び測定）		△	△※a		△※a	△
	2-7	火薬庫の床・内面材質		△				△
	2-8	火薬庫の換気孔の設置		△				△
	2-11	屋根等の材質、盗難・火災防止構造	△	△				△
	2-12	避雷装置有無	△	△		△		
	2-14	防火設備、警戒設備の設置	△	△	△※a	△		
	2-15	火薬庫の天井・屋根の盗難防止措置		△				△

2-16	警報装置の設置（及び作動試験等）		△				△
6-2	火薬庫の構造、材質、盗難・火災防止措置		△				△
6-4	火薬庫の屋根外面等の材質、盗難・火災防止構造	△	△				△
6-5	避雷装置の有無	△	△※a		△		

3.1.1 リアルタイム配信

(ア) 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であるかを確認する。

(イ) 安全性

1) ドローン搭載カメラによるリアルタイム配信

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出力電力や周波数を調査し、電気雷管の起爆につながる危険性の有無を確認する。

2) 携帯型カメラによるリアルタイム配信

使用する機材で防爆仕様に対応される可能性を確認する。

(ウ) 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）を確認する。

(エ) 工数

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を確認する。

(オ) コスト

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）にかかる投資額と実際の配信映像の品質を加味した上で、従来手法と比較してコスト削減になりえるかを確認する。

表 3.1-2 実証項目「①リアルタイム配信」を適用する検査対象

※a 完成検査のみ

対象法令	検査対象	検査方法	①リアルタイム配信		
			ドローン搭載カメラ	携帯型カメラ	
別表第一 および 別表第三	1-1	危険区域の警告札掲示の状況	製造所の標識及び爆発又は発火に関し必要な事項の掲示、危険区域の設定、危険区域が明確に判別できるような措置並びに警戒札の掲示の状況を確認する	○	○
	1-2	危険区域の施設種類	危険区域に製造その他の作業上やむを得ない施設以外のものがないことを確認する	○	○
	1-6	ボイラー・煙突の有無	危険区域内にボイラー室及び煙突が設置されていないことを確認する	○	○
	1-7	工室の耐火構造・材質（及び測定）	爆発の危険のある工室は火炎に対して抵抗性を有する構造となっていること及び建築材料の種類を確認する 爆発の危険のある工室は別棟とされているかを確認する	○	○
	1-8（別表第一のみ対象）	土堤・防爆壁の構造（及び測定）	煙火等の製造所以外の製造所の爆発の危険のある工室又は火薬類一時置場に設けた土堤の構造等を確認する	○	○ ※a
	1-13	消火設備の設置	危険工室の発火の危険のある設備に消防設備（消火器等）設置の状況を確認する	○	
	1-14	消火設備の設置	危険工室の付近に消火設備（貯水槽・消火栓・貯水池）の有無を確認する	○	○
	1-38	爆発試験場等の危険区域内設	爆発試験場、燃焼試験場、発射試験場又は廃棄焼却場について、危険区域内に設置されていることを確認する	○	○
	1-38の3	周囲の火災防止措置（又は作動試験等）	爆発試験場、燃焼試験場、発射試験場又は廃棄焼却場について、周辺の樹木、雑草を伐採しているかもしくは散水を行っているかを確認する	○	○
	3-1	区域設定・警告札掲示の状況	製造所の標識及び爆発又は発火に関し必要な事項の掲示、移動区域の設定並びに警戒札の掲示の状況を確認する	○	○
	3-8	ボイラー・煙突の有無	危険区域内にボイラー室及び煙突が設置されていないことを確認する	○	○
	3-33	廃棄焼却場の設置場所	爆発試験場、燃焼試験場、発射試験場又は廃棄焼却場について、危険区域内に設置されていることを確認する	○	○
3-33の3	周囲の火災防止措置（又は作動試験等）	排気焼却場は、周辺の樹木、雑草を伐採しているかもしくは散水を行っているかを確認する	○	○	
別表第二 および 別表第四	2-11	屋根等の材質、盗難・火災防止構造	地上式 1 火薬庫の小屋組みと屋根の材質、盗難と火災を防ぐ構造を確認する	△	△
	2-12	避雷装置有無	火薬庫の避雷針の有無を確認する	△	△
	2-14	防火設備、警戒設備の設置	火薬庫に 2メートル以上の空き地の確認、防火設備及び警戒設備の設置の状況を確認する	△	△
	6-4	火薬庫の屋根外面等の材質、盗難・火災防止構造	火薬庫の小屋組みと屋根の材質、盗難と火災を防ぐ構造を確認する	△	△
	6-5	避雷装置の有無	火薬庫の避雷針の有無を確認する	△	△ ※a

3.1.2 点群データによる計測

(ア) 精度

- 1) ドローン搭載レーザスキャナによる点群データの取得
データ取得のため精度の評価は実施しない。
- 2) 携帯型・地上型レーザスキャナによる点群データの取得
データ取得のため精度の評価は実施しない。
- 3) 取得した点群データによる距離・勾配の計測
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ことを確認する。

(イ) 安全性

- 1) ドローン搭載レーザスキャナによる点群データの取得
レーザが人体に影響がない波長を選定する。なお、ドローン墜落時のリスク低減策と電波の電気雷管の起爆につながる危険性の有無は、実証項目④リアルタイム配信と共通とする。
- 2) 携帯型・地上型レーザスキャナによる点群データの取得
携帯型レーザスキャナ操作時の安全対策を確認する。レーザが人体に影響がない波長を選定する。

(ウ) 信頼性

- 1) ドローン搭載レーザスキャナによる点群データの取得
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。また、データ取得時のデータ改ざん、送信時のデータ破損、漏えい・改ざん等のリスクへの対策も確認する。
- 2) 携帯型・地上型レーザスキャナによる点群データの取得
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。データ改ざん等のリスク対策は、前項 1) と同様とする。
- 3) 取得した点群データによる距離・勾配の計測
同一地点の計測を実施した際の計測誤差（再現性や繰り返し性）を確認する。

(エ) 工数

本実証項目でかかった工数を確認する。

(オ) コスト

本実証項目でかかったコストを確認する。

表 3.1-2 実証項目「②点群データによる計測」を適用する検査対象

※a 完成検査のみ

対象法令	検査対象	検査方法	②点群データによる計測	
別表第一 および 別表第三	1-3	延焼防止措置（測定、又は作動試験等）	危険区域の境界が森林内に設けられた場合について火災による延焼を防止するための措置の状況を確認する	○
	1-8 （別表第一のみ対象）	土堤・防爆壁の構造（及び測定）	煙火等の製造所以外の製造所の爆発の危険のある工室又は火薬類一時置場に設けた土堤の構造等を確認する	○ ※a
	1-13の2	発火・爆発防止措置（測定、及び作動試験等）	無煙火薬を存置する火薬類一時置場における火薬の分解及び発火を防止するための措置並びに当該発火による爆発を防止するための措置の状況を確認する	○
	1-35	乾燥台の落下対策・砂塵混入防止措置（又は測定）	日乾場の乾燥台について、火薬類の落下による爆発又は発火を防止するための措置及び砂じん等の混入を防止するための措置の状況を確認する	○
	1-41	運搬通路の路面、勾配（又は測定）	火薬類の運搬通路について、路面及び勾配の状況を確認する	○
	3-3	延焼防止措置（測定、又は作動試験等）	移動区域の境界が森林内に設けられた場合について、火災による延焼を防止するための措置の状況を確認する	○
別表第二 および 別表第四	2-5	火薬庫の窓	火薬庫の窓の設置の状況及び当該窓に係る主要な寸法を確認する	△ ※a
	2-6	火薬庫の床高さ・通気孔（及び測定）	搬出入装置を有する火薬庫以外の火薬庫の通気孔の設置の状況を確認並びに床の高さ及び当該通気孔に係る主要な寸法を確認する	△ ※a
	2-14	防火設備、警戒設備の設置	火薬庫に2メートル以上の空き地の確認、防火設備及び警戒設備の設置の状況を確認する	△ ※a

3.1.3 AIによる画像検出

(ア) 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。

(イ) 安全性

ドローン墜落時のリスク低減策と電波の電気雷管の起爆につながる危険性の有無は、実証項目①リアルタイム配信と共通とする。

(ウ) 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。なお、データ取得時のデータ改ざん、送信時の破損・漏えい・改ざん等のリスクへの対策は、実証項目②点群データによる計測で確認する。

(エ) 工数

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、工数が削減可能かを確認する。

(オ) 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、コストが削減可能かを確認する。

表 3.1-4 実証項目「③AIによる画像検出」を適用する検査対象

対象法令	検査対象	検査方法	③AIによる画像検出	
別表第一 および 別表第三	1-1	危険区域の警告札掲示の状況	製造所の標識及び爆発又は発火に関し必要な事項の掲示、危険区域の設定、危険区域が明確に判別できるような措置並びに警戒札の掲示の状況を確認する	○
	1-6	ボイラー・煙突の有無	危険区域内にボイラー室及び煙突が設置されていないことを確認する	○
	3-1	区域設定・警告札掲示の状況	製造所の標識及び爆発又は発火に関し必要な事項の掲示、移動区域の設定並びに警戒札の掲示の状況を確認する	○
	3-8	ボイラー・煙突の有無	危険区域内にボイラー室及び煙突が設置されていないことを確認する	○
別表第二 および 別表第四	2-12	避雷装置有無	火薬庫の避雷針の有無を確認する	△
	2-14	防火設備、警戒設備の設置	火薬庫に2メートル以上の空き地の確認、防火設備及び警戒設備の設置の状況を確認する	△
	6-5	避雷装置の有無	火薬庫の避雷針の有無を確認する	△

3.1.4 図面の AI 差分解析

(ア) 精度

1) 紙図面・点群データの電子図面化

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) 電子化図面の AI による差分解析

前項 1) で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。

(イ) 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。

(ウ) 信頼性

1) 紙図面・点群データの電子図面化

電子図面を作成するために参照するデータの正確さについて、本実証事業で取得した点群データと実測値の比較により確認する。なお、点群データ取得時のデータ改ざん、送信時の破損・漏えい・改ざん等のリスクへの対策は、実証項目②点群データによる計測で確認する。

一方、既存の図面データについては、更新の履歴を判断することが困難なため、信頼性に関する評価はないものとする。

2) 電子化図面の AI による差分解析

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。

(エ) 工数

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が削減可能かを確認する。

(オ) コスト

従来手法のヒアリングにより、初期投資額とランニングコストを考慮して、コスト削減が可能なことを確認する。

表 3.1-3 実証項目「④図面の AI 差分解析」を適用する検査対象

※a 完成検査のみ

対象法令		検査対象	検査方法	③図面の AI 差分解析
別表第一 および 別表第三	1-3	延焼防止措置 (測定、又は作動 試験等)	危険区域の境界が森林内に設けられた場合について火災による延焼を防止するための措置の状況を確認する	○ ※a
	3-3	延焼防止措置 (測定、又は作動 試験等)	移動区域の境界が森林内に設けられた場合について、火災による延焼を防止するための措置の状況を確認する	○
別表第二 および 別表第四	2-5	火薬庫の窓	火薬庫の窓の設置の状況及び当該窓に係る主要な寸法を確認する	△
	2-6	火薬庫の床高さ・ 通気孔（及び測 定）	搬出入装置を有する火薬庫以外の火薬庫の通気孔の設置の状況を確認並びに床の高さ及び当該通気孔に係る主要な寸法を確認する	△

3.1.5 点検記録アプリによる可視化

(ア) 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。

(イ) 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。

(ウ) 信頼性

点検内容の送信時のデータ破損、改ざん・漏えいなどのリスクについて確認する。

(エ) 工数

従来手法をヒアリングし、点検記録アプリによる可視化で工数が削減可能かを確認する。

(オ) コスト

点検内容は現状（紙ベースを想定）を変更することなく、同一の対象を同一の方法で実施し、記録記載先がデジタル端末に置き換わるため、アプリを用いた点検で現状から削減される項目について確認する。

表 3.1-6 実証項目「⑤点検記録アプリによる可視化」を適用する検査対象

対象法令	検査対象	検査方法	⑤点検記録アプリによる可視化	
別表第一 および 別表第三	1-13	消火設備の設置	危険工室の発火の危険のある設備に消防設備（消火器等）設置の状況を確認する	○
	1-13の2	発火・爆発防止措置（測定、及び作動試験等）	無煙火薬を存置する火薬類一時置場における火薬の分解及び発火を防止するための措置並びに当該発火による爆発を防止するための措置の状況を確認する	○
	1-15	窓・出口の構造（避難構造）	危険工室の窓及び出口の扉について、非常の際に容易に避難できる構造となっていることを確認する	○
	1-15の2	窓・扉の金具材質（摩擦による爆発・発火防止）	危険工室の窓及び扉に用いる金具の材質を確認する ただし、摩擦により火薬類が爆発し又は発火するおそれがない場合には、当該おそれがないことを確認する	○
	1-15の3	窓の直射日光防止構造	危険工室の窓について火薬類が爆発し又は発火することを防止するための措置の状況を確認する ただし、直射日光により火薬類が爆発し又は発火するおそれがない場合には、当該おそれがないことを確認する	○
	1-16	工室の内面・剥離防止措置	危険工室の内面について、内面の剥離及び内面の一部が火薬類に混入することを防止するための措置の状況を確認する	○
	1-16の2	工室の内面・火薬類浸透等防止措置	危険工室の内面について、飛散した火薬類の浸透又は浸入を防止するための措置の状況及び飛散した火薬類を容易に除去するための措置の状況を確認する ただし、火薬類が飛散するおそれがない場合には、当該おそれがないことを確認する	○
	1-16の3	工室の床面（落下による爆発・発火対策）	危険工室の床面について、火薬類が落下することにより爆発し又は発火することを防止するための措置の状況を確認する ただし、火薬類が床面にこぼれ又は落下するおそれがない場合は、当該おそれがないことを確認し、火薬類が落下することにより爆発し又は発火するおそれがない場合は、当該おそれがないことを確認する	○
	1-16の4	工室の床面の材質	第四条第一項第十二号二の危険工室の床面の材料を確認する	○
	1-18	原動機・温湿調整装置有無	危険工室内に原動機及び温湿度調整装置が据付けられていないことを確認する ただし、火薬類の爆発又は発火を起こすおそれがない場合には、当該おそれがないことを確認する	○
1-20	工室の暖房装置の爆発・防火措置	危険工室内の暖房装置について、火薬類の爆発又は発火を防止するための措置の状況を確認するとともに、燃焼しやすい物との隔離の状況を確認する	○	

	1-22	工室・火薬類一時置場の照明設備の防爆装置（漏電、可燃ガス、粉塵防止）	危険工室又は火薬類一時置場を照明する設備について、漏電、可燃性ガス、粉じん等により火薬類が爆発し又は発火することを防止するための措置の状況を確認する ただし、漏電、可燃性ガス、粉じん等により火薬類が爆発し又は発火するおそれがない場合には、当該おそれがないことを確認する	○
	1-30	工室の静電気による爆発・発火防止措置（又は測定）	危険工室における静電気により火薬類が爆発し又は発火することを防止するための措置の状況を確認する ただし、静電気により火薬類が爆発し又は発火するおそれがない場合には、当該おそれがないことを確認する	○
別表第二 および 別表第四	2-3	火薬庫の壁	壁の厚さを確認する	△
	2-4	火薬庫の入口扉（盗難防止措置）	火薬庫の入口の扉の設置の状況及び盗難を防止するための措置の状況を確認する	△
	2-5	火薬庫の窓	火薬庫の窓の設置の状況及び当該窓に係る主要な寸法を確認する	△
	2-6	火薬庫の床高さ・通気孔（及び測定）	搬出入装置を有する火薬庫以外の火薬庫の通気孔の設置の状況を確認並びに床の高さ及び当該通気孔に係る主要な寸法を確認する	△
	2-7	火薬庫の床・内面材質	搬出入装置を有する火薬庫以外の火薬庫の内面の材質及び床面の状況を確認する	△
	2-8	火薬庫の換気孔の設置	火薬庫の換気孔の設置の状況を確認する	△
	2-11	屋根等の材質、盗難・火災防止構造	地上式 1 火薬庫の小屋組みと屋根の材質、盗難と火災を防ぐ構造を確認する	△
	2-15	火薬庫の天井・屋根の盗難防止措置	火薬庫の天井裏又は屋根の盗難を防止するための措置を確認する	△
	2-16	警報装置の設置（及び作動試験等）	見張人を常時配置しない火薬庫の警鳴装置の設置の状況及び当該装置の機能を確認する	△
	6-2	火薬庫の構造、材質、盗難・火災防止措置	火薬庫の構造、材質並びに盗難及び火災を防ぐ措置の状況を確認する	△
6-4	火薬庫の屋根外面等の材質、盗難・火災防止構造	火薬庫の小屋組みと屋根の材質、盗難と火災を防ぐ構造を確認する	△	

3.2 結果及び評価・分析

3.2.1 リアルタイム配信

3.2.1.1 ドローン搭載カメラによるリアルタイム配信

(1) ドローンによるリアルタイム配信結果

危険区域内の施設の数が多岐にわたることから、対象を1級火薬庫×2（①最北東と②最南西）、火薬類一時置場、危険工室、危険工室（隔壁）、ボイラー室、危険区域の境界に絞り、配置平面図に記載されている名称や位置と比較し確認を行った。飛行を行うポイントは2.2.2(A)に示す3ポイントとする。

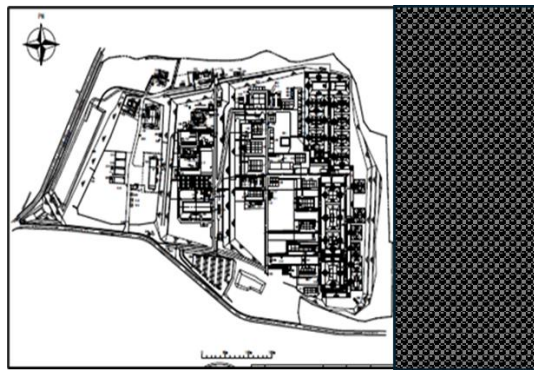


図 3.2-1 火薬メーカー工場

(ア) 別表第1 1-1 及び別表第3 1-1（危険区域の警告札掲示の状況）

それぞれズームアップ（最大倍率光学23倍）して点検可否を確認した。結果を表3.2-1に示す。

表 3.2-1 危険区域の警告札掲示の状況

撮影ポイント (離隔距離) (m)	相対 高度 (m)	対象	確認 可否 (配信)	確認 可否 (記録)	不可理由
ポイント1 (479)	40	1級火薬庫①	×	×	画質（施設名板の文字が読めない）
		1級火薬庫②	×	×	土堤による死角
		火薬類一時置場	×	×	土堤による死角
		危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室（隔壁）	×	×	画角が要因の死角
		ボイラー室	×	×	植生の死角
		危険区画	○	○	
	80	1級火薬庫①	×	×	屋根による死角
		1級火薬庫②	×	×	土堤による死角
		火薬類一時置場	×	×	土堤による死角
		危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室（隔壁）	×	×	角度が要因の死角
		ボイラー室	×	○	画質（施設名板の文字が読めない）
	120	危険区画	○	○	
		1級火薬庫①	×	×	屋根による死角
		1級火薬庫②	×	×	角度が要因の死角
		火薬類一時置場	×	×	土堤による死角
		危険工室	×	×	土堤による死角
危険工室（隔壁）	×	×	角度が要因の死角		

		ボイラー室	×	○	画質（施設名板の文字が読めない）
		危険区画	○	○	
ポイント 2 (488)	40	1 級火薬庫①	×	×	土堤による死角
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
		火薬類一時置場	×	×	土堤による死角
		危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室（隔壁）	×	×	画角が要因の死角
		ボイラー室	×	×	植生の死角
		危険区画	×	×	植生の死角
	80	1 級火薬庫①	×	×	屋根による死角
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
		火薬類一時置場	×	×	土堤による死角
		危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室（隔壁）	×	×	角度が要因の死角
		ボイラー室	×	×	角度が要因の死角
		危険区画	○	○	
	120	1 級火薬庫①	×	×	屋根による死角
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
		火薬類一時置場	×	×	土堤による死角
		危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室（隔壁）	×	×	角度が要因の死角
		ボイラー室	×	×	角度が要因の死角
		危険区画	○	○	
ポイント 3 (230)	20	1 級火薬庫①	×	×	土堤による死角
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
		火薬類一時置場	×	×	土堤による死角
		危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室（隔壁）	×	×	植生の死角
		ボイラー室	×	×	隣接する建物の死角
		危険区画	×	×	植生の死角
	40	1 級火薬庫①	×	×	土堤による死角
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
		火薬類一時置場	×	×	土堤による死角
		危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室（隔壁）	×	×	画質（施設名板の文字が読めない）
		ボイラー室	×	×	角度が要因の死角
		危険区画	×	×	植生の死角
	60	1 級火薬庫①	×	×	土堤による死角
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
		火薬類一時置場	×	×	土堤による死角
		危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室（隔壁）	×	×	画質（施設名板の文字が読めない）
		ボイラー室	×	×	角度が要因の死角
		危険区画	×	×	植生の死角
	100	1 級火薬庫①	×	×	屋根による死角
		1 級火薬庫②	×	○	画質（施設名板の文字が読めない）
		火薬類一時置場	×	×	屋根若しくは植生の死角
		危険工室	×	×	屋根若しくは角度による死角
		危険工室（隔壁）	×	×	画質（施設名板の文字が読めない）
		ボイラー室	×	×	角度が要因の死角
危険区画		×	×	植生の死角	

145	1 級火薬庫①	×	×	屋根による死角
	1 級火薬庫②	×	○	画質（施設名板の文字が読めない）
	火薬類一時置場	×	×	屋根若しくは植生の死角
	危険工室	×	×	屋根若しくは角度による死角
	危険工室（隔壁）	×	×	屋根の死角
	ボイラー室	×	×	角度が要因の死角

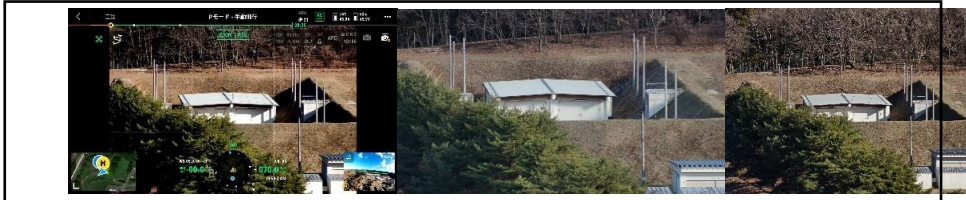


図 3.2-2 ポイント 1 高度 40m での 1 級火薬庫①撮影映像（14 倍）
（左から配信映像、録画映像、静止画）



図 3.2-3 ポイント 1 高度 40m での 1 級火薬庫①撮影映像（拡大）
（左から配信映像、録画映像、静止画）



図 3.2-4 ポイント 1 高度 40m 土堤により死角となる様子
（左 1 級火薬庫②、右火薬類一時置き場）



図 3.2-5 高度による視角差 (1 級火薬庫②)
 (左上からポイント 3 20m,40m,60m,100m,145m)

(イ) 別表第 1 1-2 及び別表第 3 1-2 (危険区域の施設種類)

危険区域内全域を撮影し、図面と比較しながら確認を実施した。結果を以下表 3.2-2 に示す。

表 3.2-2 危険区域の施設種類

撮影ポイント (離隔距離) (m)	相対 高度 (m)	確認可否 (配信)	確認可否 (記録)	不可理由
ポイント 1 (479)	40	×	×	土堤、施設により死角があるため
	80	×	×	土堤、施設により死角があるため
	120	×	×	土堤、施設により死角があるため
ポイント 2 (488)	40	×	×	土堤、施設により死角があるため
	80	×	×	土堤、施設により死角があるため
	120	×	×	土堤、施設により死角があるため
ポイント 3 (230)	20	×	×	土堤、施設により死角があるため
	40	×	×	土堤、施設により死角があるため
	60	×	×	土堤、施設により死角があるため
	100	○	○	
	145	○	○	



図 3.2-6 ポイント 1 高度 40m、80m、120m



図 3.2-7 ポイント 2 高度 40m、80m、120m



図 3.2-8 ポイント 3 高度 20m、40m、60m、100m、150m

(ウ) 別表第 1 1-6、3-8 及び別表第 3 1-6、3-8 (ボイラー・煙突の有無)

危険区域内全域を撮影し、図面と比較しながら確認を実施した。結果を以下表 3.2-3 に示す。前項と同等の点検対象を同様の方法にて確認を行ったため結果は等しくなった。

表 3.2-3 ボイラー・煙突の有無

撮影ポイント (離隔距離) (m)	相対 高度 (m)	確認可否 (配信)	確認可否 (記録)	不可理由
ポイント 1 (479)	40	×	×	土堤、施設により死角があるため
	80	×	×	土堤、施設により死角があるため
	120	×	×	土堤、施設により死角があるため
ポイント 2 (488)	40	×	×	土堤、施設により死角があるため
	80	×	×	土堤、施設により死角があるため
	120	×	×	土堤、施設により死角があるため
ポイント 3 (230)	20	×	×	土堤、施設により死角があるため
	40	×	×	土堤、施設により死角があるため
	60	×	×	土堤、施設により死角があるため
	100	○	○	
	145	○	○	

(工) 別表第 1 1-7 及び別表第 3 1-7 (工室の耐火構造・材質)

対象施設に対し、それぞれズーム (最高倍率光学 23 倍) をかけ確認を実施した。結果を表 3.2-4 及び表 3.2-5 に示す。

表 3.2-4 工室の耐火構造・材質【火炎抵抗】

撮影ポイント (離隔距離 m)	相対高度 (m)	対象	確認可否 (配信)	確認可否 (記録)	不可理由
ポイント 1 (479)	40	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	×	×	植生の死角
	80	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	×	×	材質の把握が難しい
	120	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	×	×	材質の把握が難しい
ポイント 2 (488)	40	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	×	×	植生の死角
	80	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	×	×	植生の死角
	120	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	×	×	材質の把握が難しい
ポイント 3 (230)	20	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	×	×	植生の死角
	40	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	×	×	材質の把握が難しい
	60	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	×	×	材質の把握が難しい
	100	危険工室	×	×	材質の把握が難しい
		危険工室 (隔壁)	×	×	材質の把握が難しい
	145	危険工室	×	×	材質の把握が難しい
		危険工室 (隔壁)	×	×	材質の把握が難しい



図 3.2-9 も近い確認可能ポイント (ポイント 3 高度 40) からの写真 (危険工室)



図 3.2-10 も近い確認可能ポイント (ポイント 3 高度 100) からの写真 (危険工室)

表 3.2-5 工室の耐火構造・材質【建材種類】

撮影ポイント (離隔距離) (m)	相対 高度 (m)	対象	確認可否 (配信)	確認可否 (記録)	不可理由
ポイント 1 (479)	40	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	×	×	植生の死角
	80	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	○	○	
	120	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	○	○	
ポイント 2 (488)	40	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	○	○	
	80	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	○	○	
	120	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	○	○	
ポイント 3 (230)	20	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	×	×	植生の死角
	40	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	○	○	
	60	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	○	○	
	100	危険工室	○	○	
		危険工室 (隔壁)	○	○	
	145	危険工室	○	○	
		危険工室 (隔壁)	○	○	



図 3.2-11 各確認可能ポイントからの写真 (危険工室)
(左からポイント 1 高度 40、ポイント 2 高度 80、ポイント 3 高度 40)



図 3.2-12 確認可能ポイントからの写真 (危険工室)
(ポイント 3 高度 100)

(オ) 別表第 1 1-8 及び別表第 3 1-8 (土堤・防爆壁の構造)

対象施設に対し、それぞれズーム（最高倍率光学 23 倍）をかけ確認を実施した。結果を表 3.2-6 に示す。

表 3.2-6 土堤・防爆壁の構造

撮影ポイント (離隔距離) (m)	相対 高度 (m)	対象	確認可否 (配信)	確認可否 (記録)	不可理由
ポイント 1 (479)	40	危険工室	×	×	土堤による死角
		火薬類一時置場	×	×	土堤による死角
	80	危険工室	×	×	土堤による死角
		火薬類一時置場	×	×	土堤による死角
	120	危険工室	×	×	土堤による死角
		火薬類一時置場	×	×	土堤による死角
ポイント 2 (488)	40	危険工室	×	×	土堤による死角
		火薬類一時置場	×	×	土堤による死角
	80	危険工室	×	×	土堤による死角
		火薬類一時置場	×	×	土堤による死角
	120	危険工室	×	×	土堤による死角
		火薬類一時置場	×	×	土堤による死角
ポイント 3 (230)	20	危険工室	×	×	土堤による死角
		火薬類一時置場	×	×	土堤による死角
	40	危険工室	×	×	土堤による死角
		火薬類一時置場	×	×	土堤による死角
	60	危険工室	×	×	土堤による死角
		火薬類一時置場	×	×	土堤による死角
	100	危険工室	○	○	
		火薬類一時置場	○	○	
145	危険工室	○	○		
	火薬類一時置場	○	○		

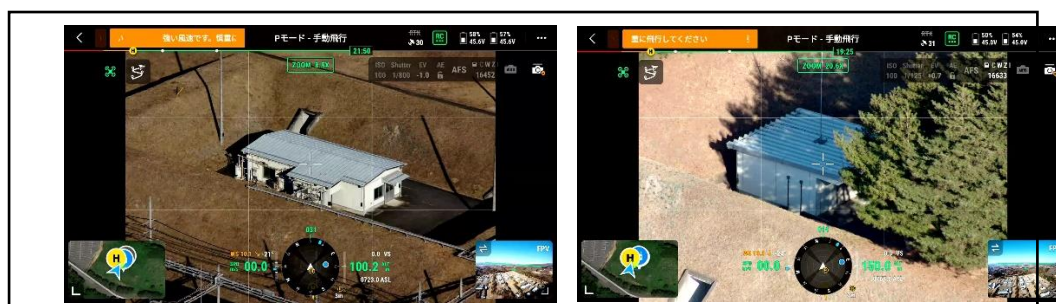


図 3.2-13 各確認可能ポイントからの写真（両方ともにポイント 3 高度 100m）

(カ) 別表第 1 1-13 及び別表第 3 1-13 (消防設備 (消火器等) 設置の状況)

対象施設に対し、それぞれズーム (最高倍率光学 23 倍) をかけ確認を実施した。結果を表 3.2-7 に示す。

表 3.2-7 消防設備 (消火器等) 設置の状況

撮影ポイント (離隔距離) (m)	相対 高度 (m)	対象	確認可否 (配信)	確認可否 (記録)	不可理由
ポイント 1 (479)	40	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	×	×	角度が要因の死角
	80	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	×	×	角度が要因の死角
	120	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	×	×	角度が要因の死角
ポイント 2 (488)	40	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	×	×	角度が要因の死角
	80	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	×	×	角度が要因の死角
	120	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	×	×	角度が要因の死角
ポイント 3 (230)	20	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	×	×	植生の死角
	40	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	○	○	
	60	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	○	○	
	100	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	○	○	
145	危険工室	×	×	角度が要因の死角	
	危険工室 (隔壁)	○	○		



図 3.2-14 確認可能ポイントからの写真 (拡大)
(左からポイント 3 高度 40m、60m、100m、145m)

(キ) 別表第 1 1-14 及び別表第 3 1-14 (消火設備 (貯水槽・消火栓・貯水池) の有無)

対象施設に対し、それぞれズーム (最高倍率光学 23 倍) をかけ確認を実施した。結果を表 3.2-8 に示す。

表 3.2-8 消火設備 (貯水槽・消火栓・貯水池) の有無

撮影ポイント (離隔距離) (m)	相対 高度 (m)	対象	確認可否 (配信)	確認可否 (記録)	不可理由
ポイント 1 (479)	40	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	×	×	角度が要因の死角
	80	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	×	×	角度が要因の死角
	120	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	×	×	角度が要因の死角
ポイント 2 (488)	40	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	×	×	角度が要因の死角
	80	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	×	×	角度が要因の死角
	120	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	×	×	角度が要因の死角
ポイント 3 (230)	20	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	×	×	植生の死角
	40	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	○	○	
	60	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	○	○	
	100	危険工室	×	×	土堤による死角
		危険工室 (隔壁)	○	○	
145	危険工室	○	○		
	危険工室 (隔壁)	○	○		

(ク) 別表第 1 1-38、3-33 及び別表第 3 1-38、3-33 (爆発試験場、燃焼試験場、発射試験場又は廃棄焼却場の設置位置)

危険区域内全域の撮影映像と図面を比較し、確認を行った。結果を表 3.2-9 に示す。

表 3.2-9 爆発試験場、燃焼試験場、発射試験場又は廃棄焼却場の設置位置

撮影ポイント (離隔距離) (m)	相対 高度 (m)	確認可否 (配信)	確認可否 (記録)	不可理由
ポイント 1 (479)	40	×	×	画質が悪く銘板に記載されている施設名が読めない中で、数ある施設の中から対象施設を見つけ出すことができない。
	80	×	×	
	120	×	×	
ポイント 2 (488)	40	×	×	
	80	×	×	
	120	×	×	
ポイント 3 (230)	20	×	×	
	40	×	×	
	60	×	×	
	100	×	×	
	145	×	×	

(ケ) 別表第 1 1-38 の 3 及び別表第 3 1-38 の 3 (爆発試験場、燃焼試験場、発射試験場又は廃棄焼却場について、周辺の樹木、雑草を伐採しているか若しくは散水を行っているか)

危険区域内全域を撮影し、映像を見て確認を行った。結果を表 3.2-10 に示す。

表 3.2-10 爆発試験場、燃焼試験場、発射試験場又は廃棄焼却場周辺の燃焼対策

撮影ポイント (離隔距離) (m)	相対 高度 (m)	確認可否 (配信)	確認可否 (記録)	不可理由
ポイント 1 (479)	40	×	×	施設の死角となる部分の判断が出来ない
	80	×	×	施設の死角となる部分の判断が出来ない
	120	×	×	施設の死角となる部分の判断が出来ない
ポイント 2 (488)	40	×	×	施設の死角となる部分の判断が出来ない
	80	×	×	施設の死角となる部分の判断が出来ない
	120	×	×	施設の死角となる部分の判断が出来ない
ポイント 3 (230)	20	×	×	施設の死角となる部分の判断が出来ない
	40	×	×	施設の死角となる部分の判断が出来ない
	60	×	×	施設の死角となる部分の判断が出来ない
	100	×	×	施設の死角となる部分の判断が出来ない
	145	×	×	施設の死角となる部分の判断が出来ない

(コ) 別表第 1 2-11 及び別表第 3 2-11 (地上式 1 火薬庫の小屋組みと屋根の材質、盗難と火災を防ぐ構造)

対象施設に対し、それぞれズーム (最高倍率光学 23 倍) をかけ確認を実施した。結果を表 3.2-11 に示す。

表 3.2-11 地上式 1 火薬庫の小屋組みと屋根の材質、盗難と火災を防ぐ構造

撮影ポイント (離隔距離) (m)	相対 高度 (m)	対象	確認可否 (配信)	確認可否 (記録)	不可理由
ポイント 1 (479)	40	1 級火薬庫①	×	×	土堤による死角
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
	80	1 級火薬庫①	×	×	映像では材質の判断ができない
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
	120	1 級火薬庫①	×	×	映像では材質の判断ができない
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
ポイント 2 (488)	40	1 級火薬庫①	×	×	土堤による死角
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
	80	1 級火薬庫①	×	×	映像では材質の判断ができない
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
	120	1 級火薬庫①	×	×	映像では材質の判断ができない
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
ポイント 3 (230)	20	1 級火薬庫①	×	×	土堤による死角
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
	40	1 級火薬庫①	×	×	土堤による死角
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
	60	1 級火薬庫①	×	×	土堤による死角
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
	100	1 級火薬庫①	×	×	土堤による死角
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
	145	1 級火薬庫①	×	×	映像では材質の判断ができない
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角

(サ) 別表第 1 2-12、別表第 3 2-12、別表第 2 6-5、別表第 4 6-5 (火薬庫の避雷針の有無)

対象施設に対し、それぞれズーム (最高倍率光学 23 倍) をかけ確認を実施した。結果を表 3.2-12 に示す。

表 3.2-12 火薬庫の避雷針の有無

撮影ポイント (離隔距離) (m)	相対 高度 (m)	対象	確認可否 (配信)	確認可否 (記録)	不可理由
ポイント 1 (479)	40	1 級火薬庫①	○	○	
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
	80	1 級火薬庫①	○	○	
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
	120	1 級火薬庫①	○	○	
		1 級火薬庫②	○	○	
ポイント 2 (488)	40	1 級火薬庫①	○	○	
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
	80	1 級火薬庫①	○	○	
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
	120	1 級火薬庫①	○	○	
		1 級火薬庫②	○	○	
ポイント 3 (230)	20	1 級火薬庫①	×	×	土堤による死角
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
	40	1 級火薬庫①	×	×	土堤による死角
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
	60	1 級火薬庫①	×	×	土堤による死角
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
	100	1 級火薬庫①	○	○	
		1 級火薬庫②	○	○	
	145	1 級火薬庫①	○	○	
		1 級火薬庫②	○	○	

(シ) 別表第 1 2-14 及び別表第 3 2-14 (火薬庫に 2 メートル以上の空き地の確認、防火設備及び警戒設備の設置の状況)

対象施設に対し、それぞれズーム (最高倍率光学 23 倍) をかけ確認を実施した。結果を表 3.2-13 に示す。

表 3.2-13 火薬庫に 2 メートル以上の空き地の確認、防火設備及び警戒設備の設置の状況

撮影ポイント (離隔距離) (m)	相対 高度 (m)	対象	確認可否 (配信)	確認可否 (記録)	不可理由
ポイント 1 (479)	40	1 級火薬庫①	×	×	土堤による死角
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
	80	1 級火薬庫①	○	○	
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
	120	1 級火薬庫①	○	○	
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
ポイント 2 (488)	40	1 級火薬庫①	×	×	土堤による死角
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
	80	1 級火薬庫①	○	○	
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
	120	1 級火薬庫①	○	○	
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
ポイント 3 (230)	20	1 級火薬庫①	×	×	土堤による死角
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
	40	1 級火薬庫①	×	×	土堤による死角
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
	60	1 級火薬庫①	×	×	土堤による死角
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
	100	1 級火薬庫①	×	×	土堤による死角
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
	145	1 級火薬庫①	○	○	
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角

(ス) 別表第 1 3-33 の 3 及び別表第 3 3-33 の 3 (排気焼却場は、周辺の樹木、雑草を伐採しているか若しくは散水を行っているか)

対象施設に対し、それぞれズーム (最高倍率光学 23 倍) をかけ確認を実施した。結果を表 3.2-14 に示す。

表 3.2-14 排気焼却場周辺の燃焼対策

撮影ポイント (離隔距離) (m)	相対高度 (m)	確認可否	不可理由
ポイント 1 (479)	40	×	施設の死角となる部分の判断が出来ない
	80	×	施設の死角となる部分の判断が出来ない
	120	×	施設の死角となる部分の判断が出来ない
ポイント 2 (488)	40	×	施設の死角となる部分の判断が出来ない
	80	×	施設の死角となる部分の判断が出来ない
	120	×	施設の死角となる部分の判断が出来ない
ポイント 3 (230)	20	×	施設の死角となる部分の判断が出来ない
	40	×	施設の死角となる部分の判断が出来ない
	60	×	施設の死角となる部分の判断が出来ない
	100	×	施設の死角となる部分の判断が出来ない
	145	×	施設の死角となる部分の判断が出来ない

(セ) 別表第 1 6-4 及び別表第 3 6-4 (火薬庫の小屋組みと屋根の材質、盗難と火災を防ぐ構造)

対象施設に対しそれぞれズームアップ (最高倍率光学 23 倍) して検査可否を確認した。各検査対象について、耐火構造・材質 (火炎抵抗・建材の種類、別棟とされているか否か) を確認した結果を表 3.2-15 に示す。

表 3.2-15 火薬庫の小屋組みと屋根の材質、盗難と火災を防ぐ構造

撮影ポイント (離隔距離) (m)	相対高度 (m)	対象	確認可否 (配信)	確認可否 (記録)	不可理由
ポイント 1 (479)	40	1 級火薬庫①	×	×	土堤による死角
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
	80	1 級火薬庫①	×	×	映像では材質の判断ができない
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
	120	1 級火薬庫①	×	×	映像では材質の判断ができない
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
ポイント 2 (488)	40	1 級火薬庫①	×	×	土堤による死角
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
	80	1 級火薬庫①	×	×	映像では材質の判断ができない
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
	120	1 級火薬庫①	×	×	映像では材質の判断ができない
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
ポイント 3 (230)	20	1 級火薬庫①	×	×	土堤による死角
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
	40	1 級火薬庫①	×	×	土堤による死角
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
	60	1 級火薬庫①	×	×	土堤による死角

	100	1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
		1 級火薬庫①	×	×	土堤による死角
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角
	145	1 級火薬庫①	×	×	映像では材質の判断ができない
		1 級火薬庫②	×	×	土堤による死角

(2) ドローン搭載カメラによるリアルタイム配信の評価および分析

(ア) 精度

前項 0 (ア) ~ (セ) に示すとおり、検査対象を確認できない項目が複数存在しているが、これは土堤や施設により検査対象が隠れることや、撮影する角度によっては死角となるため、映らない状況があったためである。単一ポイントからのみの撮影ではすべての検査対象を確認することはできないが、いずれかの撮影ポイント・撮影高度で1つ以上の点検可能な撮影ポイントがあった場合は、本手法が従来手法による検査の代替手法となり得ることが考えられる。

そのため、異なる撮影ポイントにて撮影された映像を組み合わせることで、検査可能な対象物の数を増やすことが可能であると推測できる。

検査可能な精度の映像を撮影できる確率の高い撮影条件を算出するため、すべての撮影ポイントからの検証結果を表 3.2-16 に示す。

表 3.2-16 ドローン搭載カメラによるリアルタイム配信の検証結果一覧

関連法令	撮影場所			ポイント1			ポイント2			ポイント3				
	40	80	120	40	80	120	20	40	60	100	145			
別表 3 1-1	○	○	○		○	○				○	○			
別表 1 1-2										○	○			
別表 3 1-2														
別表 1 1-6														
別表 3 1-6										○	○			
別表 1 3-8														
別表 3 3-8														
別表 1 1-7														
別表 3 1-7		○	○	○	○	○		○	○	○	○			
別表 1 1-8										○	○			
別表 3 1-8														
別表 1 1-13								○	○	○	○			
別表 3 1-13														
別表 1 1-14								○	○	○	○			
別表 3 1-14														
別表 1 3-33														
別表 3 3-33														
別表 1 1-38														
別表 3 1-38														
別表 1 1-38 の 3														
別表 3 1-38 の 3														
別表 2 2-11														
別表 4 2-11														
別表 2 2-12	○	○	○	○	○	○				○	○			

別表 4 2-12											
別表 2 6-5											
別表 4 6-5											
別表 2 2-14		○	○		○	○					○
別表 4 2-14											
別表 1 3-33 の 3											
別表 3 3-33 の 3											
別表 2 6-4											
別表 4 6-4											
撮影できた箇所	1	4	4	2	4	4	0	3	3	8	9

上記の結果から、高度 40m の低高度と比較すると高度 100m～145m の高高度から撮影した映像の方が、また、遠距離と比較すると近距離から撮影した映像の方が検査対象となる設備の状況等を確認できる可能性は高いことが判った。ただし、表 3.2-1 の 1 級火薬庫①のように、低高度の 40m では屋根の影響はないが、高高度の 80m、120m になると屋根に隠れて見えなくなるパターンもある（40m で標識確認不可の原因は、屋根ではなく画質不良。40m では画角内には標識は入っている）。このため、高高度からの撮影だけで十分という訳ではなく、低高度からの撮影も重要であることが結果から推測でき、撮影高度は 2 パターン以上必要となると考えられる。

また、本技術実証ではフライトが可能なポイントに制限があったため、飛行を行うのは図 2.2-2 に示す 3 ポイントとなったが、その中でも検査の可否に差が出る結果となった。ポイント 1 およびポイント 2 では大きな差は出なかったが、ポイント 1 あるいはポイント 2 からの撮影とポイント 3 からの撮影を比較すると、検査対象の確認できる項目が大きく異なっている。これは離隔距離が離れることによる映像品質の低下や、ポイント 1 およびポイント 2 は撮影角度の差が 30 度程度と小さく、ポイント 3 はポイント 2 から 90 度ほど撮影角度が変わることが影響していると考えられる。また、離隔距離が大きくなると高高度へ上昇した場合の撮影角度が小さくなることも起因しているのではないかと考察できる（ポイント 1 の高度 40m から危険区域の中心を直線で結んだ角度と、ポイント 3 の高度 20m から危険区域の中心を直線で結んだ角度が等しい角度となる。）。

表 3.2-1 の内容から、ポイント 3 では確認が出来なかった危険区画の標識がポイント 1 およびポイント 2 では確認ができています。このことから撮影は多方向から実施することが良いと考えられ、更に標識は建物の壁面に貼られていることを考慮すると、4 方向からの撮影を行うことで精度向上が期待できると予想される。更に撮影高度は 2 パターン（高高度および低高度）を掛け合わせ、合計 8 パターンの撮影を行うことで多くの検査項目を確認することができると考察する。

ただし、現地の状況によっては、火薬工場やその周辺環境の地形の関係で、低高度あるいは高高度からの撮影を行った場合でも、求める画角での撮影が困難なケースも想定されるため、検査を行う場合は事前に調査、検討を行う必要がある。

(イ) 安全性

1) 落下予測範囲の試算（ドローン墜落時のリスク低減）

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。

ドローンの墜落を想定した場合、リスクを最低限にするためには危険区域内への墜落は確実に避ける必要があるが、そのためには落下予測範囲を試算しそれ以上の距離を離れた飛行を行う必要がある。

今回の飛行方法における落下予測範囲を下記の算出方法にて試算する。

①インシデント発生から緊急停止操作までの水平距離[X1]

$$X1 = (M + V\cos\theta) \cos\theta \times S$$

②緊急停止操作から落下地点までの水平距離[X2]

$$X2 =$$

$$(M + V\cos\theta)^2 \times \sin 2\theta / g + (M + V) \times \sqrt{(2 \times (H + (M + V\cos\theta)\sin\theta \times S) / g)}$$

③落下予測距離[X3]

$$X3 = X1 + X2$$

本実証項目での数値は下記[M]～[g]となる。

[M]最大飛行速度：3m/s（上昇時の速度）

[H]最大対地高度：145m（本実証項目での最大飛行高度）

[V]最大風速：5m/s（仮定）

[S]インシデント発生から緊急停止操作を行うまでの時間：2秒（仮定）

[θ]投射角度：90度（本実証項目では上昇のみ行うため）

[g]重力加速度：9.8m/s（固定値）

上記算出方法にて計算したところ、落下予測距離は54.6mとなった。

本実証項目では落下予測範囲に危険区域が含まれないようにするための対策として上記にて求めた数値（54.6m）以上の距離を危険区域から取った場所で飛行を行い、危険区域内への墜落を防止した。3つの飛行ポイントの中で最も危険区域から近いポイント3において、危険区域からの最短距離が65mであったため、他のポイントについても同様に54.6m以上の離隔が確保できているものと判断する。危険区域からポイント3の離隔のイメージを図3.2-15に示す。



図 3.2-15 危険区域とポイント3の離隔

なお、予備施策として操作ミスによる危険区域への接近を防止するため、本実証項目ではジオフェンス機能を使用した飛行を行った。これにより、GPSの情報を元に飛行の制限を行い、落下予測範囲内に危険区域が入らない飛行が可能となった。

それ以外のリスクでは、ドローンが自身の位置情報を見失い暴走する危険性等が想定される。これに対しては、ドローンの飛行条件（例：低風速下、低高度等）にもよるが、係留装置を使用した飛行などによるリスクの低減が可能である。

2) ドローンおよび操縦装置が発する電波の出力電力の調査（電気雷管の起爆可能性調査）

過去の研究論文（社団法人火薬学会発行「高周波エネルギーに対する電気雷管の発火特性」[黒木, 小坂, 加藤, 2023]）の中では「特定小電力無線機等の 10mW 以下の出力電力では電子雷管を発火するエネルギーは持っていないため、発火の危険性は低いものと推定される。」と記載されている。このため、本実証項目で使用した Matrice300RTK の出力電力を総務省電波利用ホームページの技術基準適合証明確認ページで確認したところ、図 3.2-16 に示すとおり、操縦装置、ドローン本体ともに約 2400MHz ~ 2480MHz 帯で 10mW 以下であり、この条件であればドローンが発する電波が電気雷管の発火に影響を与える可能性は低いことが分かった。

相互承認(MRA)による工事設計認証に関する詳細情報		相互承認(MRA)による工事設計認証に関する詳細情報	
工事設計認証番号	211-191234	工事設計認証番号	211-191235
工事設計認証をした年月日	令和2年5月6日	工事設計認証をした年月日	令和2年5月6日
工事設計認証を受けた者の氏名又は名称	SZ DJI Technology Co., Ltd.	工事設計認証を受けた者の氏名又は名称	SZ DJI Technology Co., Ltd.
工事設計認証を受けた特定無線設備の種別	第2条第19号に規定する特定無線設備	工事設計認証を受けた特定無線設備の種別	第2条第19号に規定する特定無線設備
工事設計認証を受けた特定無線設備の型式又は名称	M300	工事設計認証を受けた特定無線設備の型式又は名称	RM500-ENT
電波の型式、周波数及び空中線電力	D1D, X7W 2403.5~2477.5MHz(2000kHz間隔38波) 0.5mW/MHz D1D, X7W 2405.5~2474.5MHz(3MHz間隔24波) 0.5mW/MHz D1D, X7W 2406.5~2476.5MHz(1000kHz間隔71波) 4.0mW/MHz D1D, X7W 2411.5~2471.5MHz(1000kHz間隔61波) 2.0mW/MHz D1D, X7W 2421.5~2461.5MHz(1000kHz間隔41波) 1.5mW/MHz	電波の型式、周波数及び空中線電力	F1D 2402~2480MHz(1000kHz間隔79波) 0.1mW/MHz F1D 2402~2480MHz(2000kHz間隔40波) 1.5mW/MHz G1D, D1D 2412~2472MHz(5MHz間隔13波) 4.0mW/MHz
スプリアス規定	新スプリアス規定	スプリアス規定	新スプリアス規定
周波数等を維持する機能	無	周波数等を維持する機能	無
BODY SAR	-	BODY SAR	-
備考		備考	
登録外国適合性評価機関名	Bay Area Compliance Laboratories Corp	登録外国適合性評価機関名	Bay Area Compliance Laboratories Corp

図 3.2-16 技術基準適合証明
(左：ドローン本体、右：操縦装置)

ドローン（Matrice300RTK）と操縦装置を実際に利用する際に、電波の周波数帯が、上記の条件を満たすかどうか以下の電波調査を行った。この結果、ドローンおよび操縦装置が発する電波の周波数帯は、ドローンや操縦装置に対してどの面においても 2400MHz ~ 2480MHz ということが確認できた。周波数帯及び出力電力とも、ドローンが発する電波が電気雷管の爆破に影響が低いことが確認できた。

- 操縦装置周囲の電界強度※と電波周波数の測定
- ドローン本体周囲の電界強度と電波周波数の測定

※ 電波出力電力は電磁界強度から算出される。最大出力方位の周波数確認の際、最大出力の代わりに最大電磁界強度を測定。

a. 調査風景

図 3.2-17 に調査時の風景を記載する。

～ドローン飛行～

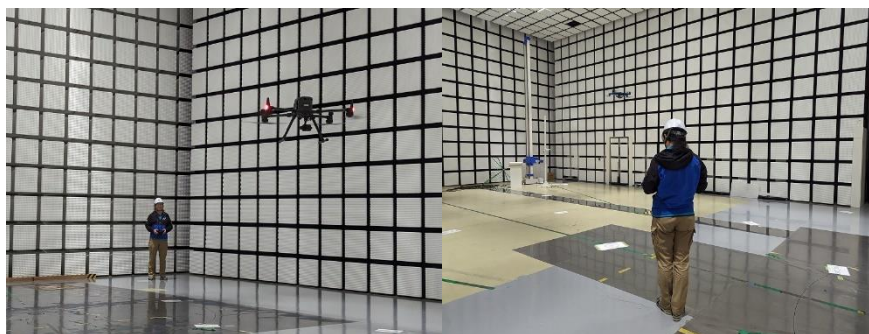


図 3.2-17 ドローン飛行の様子

あらかじめ設定している測定ポイントの地面にシートを張った場所でドローンを離発着させた。

～電波受信～

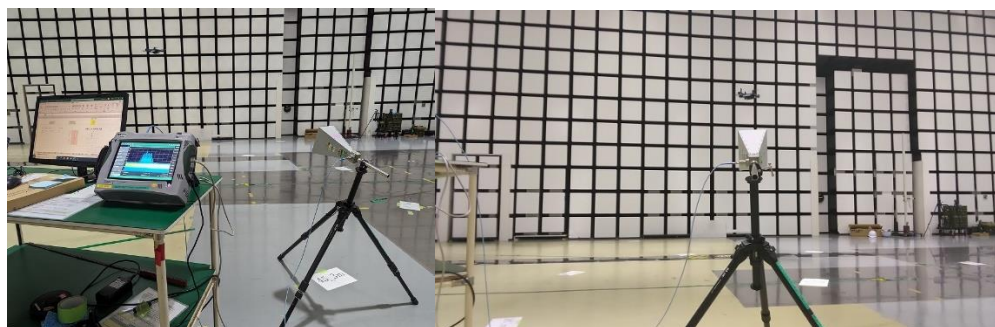


図 3.2-18 電波受信の様子

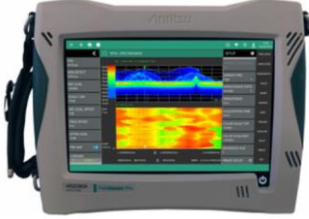
ドローンに対して各方面の電界強度と電波周波数を測定するため、電波の受信機を都度設置し計測を行った。

b. 使用機材

■ 周波数分析装置（スペクトラムアナライザ）

電波測定用の機材はドローンが使用する周波数帯周辺の電波が計測可能なアンリツ製のMS2090Aを使用した。仕様を表 3.2-17 に示す。

表 3.2-17MS2090A 仕様

名称	MS2090A
製造業者	アンリツ株式会社
外観	 <p>出典：アンリツ株式会社 HP</p>
周波数範囲	9kHz～32GHz
解析帯域幅	110MHz
変調解析	5G NR、LTE FDD/TDD 方式の RF、変調品質測定
特徴	<p>最大 6 つの波形を同時に表示し、それぞれ異なる検波器を使用の使用や、平均化を実施することができる。</p> <p>マーカを 12 個使用することができ、それぞれの詳細な測定結果を示すテーブルを表示することができる。</p>

■比較用ドローン

本実証項目で使用する Matrice300RTK の電波測定結果と比較する対象として、Skydio 社製 Skydio2+を使用した。

DJI 社製の他の機種は同様の電波を使用しているため、別のメーカー製であるドローンを準備した。仕様を表 3.2-18 に示す。

表 3.2-18Skydio2+仕様

名称	Skydio2+
製造業者	アンリツ株式会社
外観	 <p>出典：ジャパン・インフラ・ウェイマーク HP</p>
寸法	229×274×126 (mm)
重量	800g
最大風圧抵抗	約 10m
最大飛行時間	27 分
特徴	<p>撮影用のカメラのレンズの他に 6 つのレンズを搭載しており、それにより周辺の障害物を検知する「ビジュアルスラム」機能を搭載している。ビジュアルスラムを使用する事により GPS を補足せずして高精度なホバリングが可能となるため屋内や橋下などで使用されることが多い。</p>

c. 操縦装置 電界強度と電波周波数の調査

操縦装置とドローン本体の位置関係による電界強度と電波周波数の変化を調査するため、以下の条件で調査を実施した。

<対象ドローン>

- ・Matrice300RTK
- ・Skydio 2+

<配置>

操縦装置を中央、高さ 1m に置き、0°方向 10m 先にドローン本体を床面(0m)に配備した。

<調査(測定)ポイント>

操縦装置、ドローン本体の向きは固定とし、操縦装置の周囲を 45°刻みで 8 方向、中央地点から 3m と 6m の 2 ポイント、または 3m のみとし、調査(測定)するアンテナ高は 1m とした。

詳細なポイント数について表 3.2-19 に示す。

<調査条件>


- ① ドローン操縦あり * ドローン操縦者は図 3.2-19 赤丸「人」の位置である。
 - 操縦装置の角度は垂直方向
- ② ドローン操縦なし * 図 3.2-19 赤丸「人」の位置に人あり、人なしの 2 パターンである。
 - 操縦装置の角度は垂直、斜め(45°)、水平方向の 3 パターンとし、合計 6 パターン
 - * 角度のイメージについては Matrice300RTK、Skydio 2+それぞれ操縦装置ごとのイメージ写真(図 3.2-20、図 3.2-21)を参照

<調査方法>

調査(測定)ポイントに受信アンテナ、スペクトラムアナライザ(MS2090A)を配備し、2400MHz - 2483.5MHz の信号分布を 15sec 間測定し、レベルの最大値を最終測定結果として記録し、併せてその際の周波数についても記録した。なお、実測の際、約 5sec ほどで最大値が取得可能と判断したため、15sec の測定とした。

表 3.2-19 測定ポイント数

機種・項目	ドローン操縦あり / 操縦者あり			ドローン操縦なし / 操縦者なし		
	垂直	斜め	水平	垂直	斜め	水平
MATRICE300RTK	16	16	16	8	8	8
Skydio 2+	16	16	16	8	8	8

※表内の 16,8 は測定ポイント  の数を示す

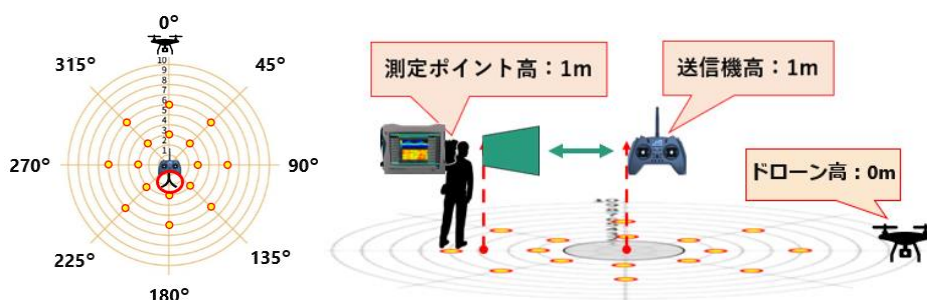


図 3.2-19 調査条件イメージ図



図 3.2-20 Matrice300RTK の操縦装置の角度



図 3.2-21 Skydio2+の操縦装置の角度

d.ドローン本体 電界強度と電波周波数の調査

ドローン本体と操縦装置の位置関係による電界強度と電波周波数の変化を調査するため、以下の条件で調査を実施した。

<対象ドローン>

- ・Matrice300RTK
- ・Skydio 2+

<配置>

ドローン本体を中央で高さ 2m または 5m でホバリングさせ、180°方向 10m 先に操縦者が立ち、操縦装置を床面約 1m の高さに保ち操縦した。

<調査(測定)ポイント>

ドローン本体、操縦装置の向きは固定とし、ドローン本体の周囲を 45°刻みで 8 方向、中央地点から 3m と 6m の 2 ポイントとした。調査(測定)するアンテナ高は 1m とし、アンテナの向きはホバリングするドローンに向け調査(測定)した。

詳細なポイント数については図 3.2-23 調査ポイントに示す。

<調査条件>

- ① Matrice300RTK 飛行の場合
 - ・FPV 映像情報発信
 - ・FPV 映像情報発信 + 撮影映像情報発信
- ② Skydio 2 + 飛行の場合
 - ・FPV 映像情報発信

<調査方法>

調査(測定)ポイントに受信アンテナ、スペクトラムアナライザ(MS2090A)を配備し、2400MHz - 2483.5MHz の信号分布を 15sec 間測定し、レベルの最大値を最終測定結果として記録し、併せてその際の周波数についても記録した。なお、実測の際、約 5sec ほどで最大値が取得可能と判断したた

め、15sec の測定とした。

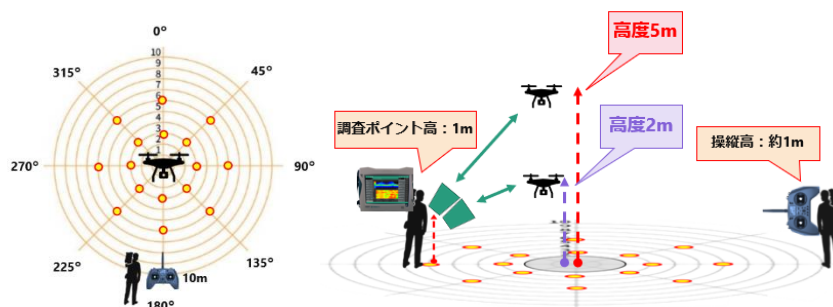


図 3.2-22 調査条件イメージ図

機種・項目	ドローンの飛行高度	
	2m	5m
MATRICE300RTK (FPV映像)	16	16
MATRICE300RTK (FPV+撮影映像)	16	16
Skydio 2+	16	16

図 3.2-23 調査ポイント

e. 調査結果詳細

計測した電界強度（単位“dB μ V/m”）は、使用したケーブルの損失値(Cable Loss)、アンテナファクターから下記計算式より算出された値である。なお、この計算式は、アンテナメーカーによって異なる計算式であり、以下の計算式は今回使用した SCHWARZBECK 社のホームページより引用した計算式である。

<電界強度計算式>

$$F = U_{RX} + k + a_k$$

F [dB μ V/m]

U_{RX} [dB μ V]

k [dB/m]

a_k [dB]

Fieldstrength Level:

Receiver Input Voltage across 50 Ω :

Antenna Factor:

Cable Loss:

$$U_{RX} \text{ [dB}\mu\text{V]} = \text{測定値 dB}\mu\text{V}$$

$$K \text{ [dB/m]} = 26 \text{ dB/m}$$

$$a_k \text{ [dB]} = 1.67 \text{ dB}$$

ここで、 a_k [dB] = Cable Loss は、アンリツ製パワーセンサー (MA2444D) で実測し、1.67dB であることを確認した。また、アンテナファクターは対象とする周波数帯が 2400MHz - 2485MHz のため、使用したアンテナの図 3.2-24 アンテナファクターを参照し、K [dB/m] = 26 dB/m とした。

Frequency	Gain(Isotr.) 1 m Apert.	Ant.-Factor 1 m Apert.	Gain(Isotr.) 3 m Apert.	Ant.-Factor 3 m Apert.	Gain(Isotr.) Farfield	Ant.-Factor Farfield
MHz	dBi	dB/m	dBi	dB/m	dBi	dB/m
2325.00	11.03	26.52	11.06	26.49	11.44	26.11
2350.00	11.14	26.50	11.14	26.50	11.54	26.10
2375.00	11.25	26.48	11.21	26.52	11.67	26.07
2400.00	11.36	26.46	11.33	26.50	11.78	26.04
2425.00	11.48	26.44	11.47	26.45	11.90	26.02
2450.00	11.58	26.42	11.57	26.43	11.99	26.01
2475.00	11.68	26.42	11.68	26.41	12.09	26.00
2500.00	11.75	26.43	11.76	26.41	12.17	26.01

図 3.2-24 アンテナファクター

出典元：SCHWARZBECK ホームページ

(URL : <https://www.schwarzbeck.de/Datenblatt/k9120b.pdf>)

■ 操縦装置 電界強度と電波周波数調査の詳細

以下に Matrice300RTK 操縦装置、Skydio 2+ 操縦装置の電界強度と電波周波数の調査結果を示す。また、調査結果は、調査ポイント（角度）に応じた電界強度値を円チャートで記したグラフも併せて記載する。2 機種種の調査結果からは、調査ポイント 3m、6m の場合、電界強度の値は 3m > 6m となった。これは、3m の距離の違いによる伝搬損失の影響である。

【Matrice300RTK 操縦装置】

当操縦装置から放射する電波は以下①～⑦のような調査結果であった。また、その際の参考波形は図 3.2-25 である。図の縦軸は電界強度の強さ、横軸は周波数である。また、色の濃さは、通信量を表しており、色が濃いほど通信量が多いことを示している。波形からは、15sec の調査時間内に 4 本の棒状の電波を受信したことが読み取れる。これは、1 本あたり約 5MHz 帯域を使用した操縦装置からドローンへの制御信号であることを確認した。この制御信号は常時同一周波数に存在するものではなく、それまでに操縦装置側で使用していた周波数帯域に何らかの電波を操縦装置側で受信した際、受信した電波を干渉電波と認識し、瞬間的に使用する周波数帯を異なる周波数帯に切り替える方式、通称周波数ホッピング方式が適用されていることを確認した。なお、中央付近の台形状の波形はドローン本体からの信号を受信したものである。

また、調査結果では操縦の有無に関わらず、人が 180°方向に立っている場合は、180°地点での測定時には人体の影響により、電界強度が低い傾向が確認された。また、操縦装置の角度については、水平方向が最も電界強度が高く、垂直方向が最も低い結果であった。

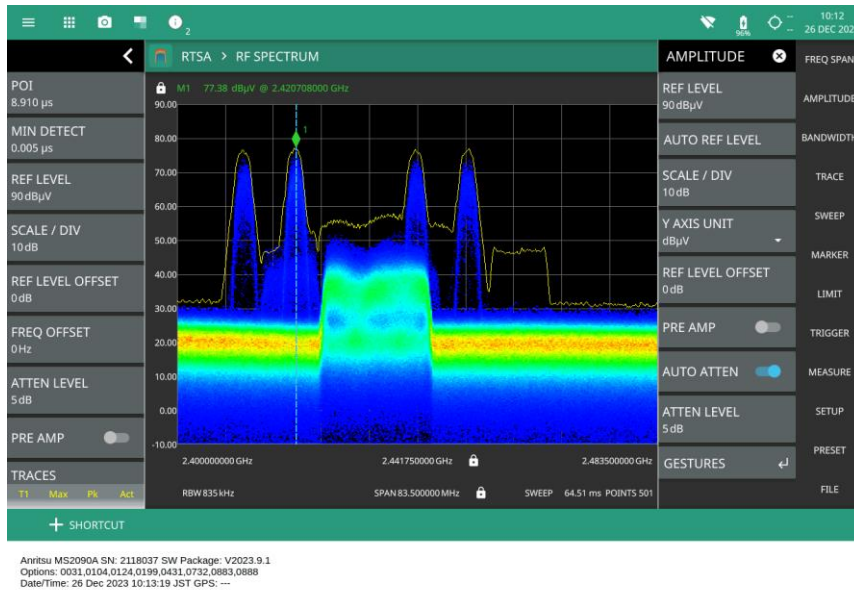
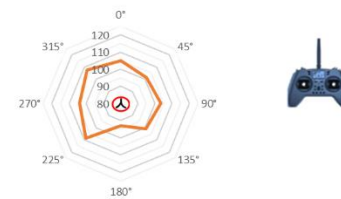


図 3.2-25Matrice300RTK 操縦装置波形

① ドローン操縦あり、操縦者あり、操縦装置角度 = 垂直
 <中央から 3m の円周上地点における測定結果>

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	105.1	2420.7
45°	101.6	2417.2
90°	103.4	2450.4
135°	100.7	2450.4
180°	92.9	2410.2
225°	108.4	2450.1
270°	103.9	2420.4
315°	107.7	2417.4

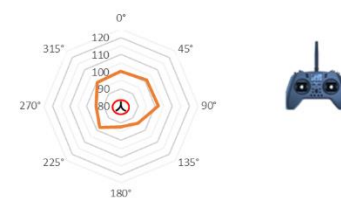
電界強度特性 (dBuV/m)



<中央から 6m の円周上地点における測定結果>

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	100.4	2441.4
45°	101.4	2420.7
90°	102.0	2411.4
135°	94.3	2412.0
180°	92.2	2420.4
225°	97.7	2420.4
270°	94.6	2447.6
315°	99.7	2411.5

電界強度特性 (dBuV/m)

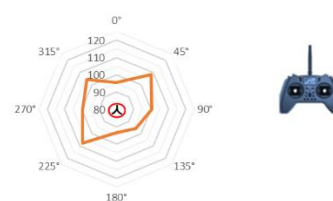


② ドローン操縦なし、操縦者あり、操縦装置角度 = 垂直

<中央から 3m の円周上地点における測定結果>

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	95.5	2420.5
45°	108.2	2441.4
90°	100.5	2441.9
135°	95.8	2450.4
180°	93.4	2450.3
225°	107.5	2450.8
270°	99.7	2420.5
315°	104.2	2438.4

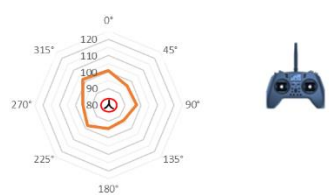
電界強度特性 (dBuV/m)



<中央から 6m の円周上地点における測定結果>

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	100.8	2420.374
45°	96.2	2450.434
90°	97.1	2411.69
135°	93.2	2423.881
180°	94.5	2420.374
225°	97.9	2450.267
270°	95.5	2438.41
315°	102.0	2420.541

電界強度特性 (dBuV/m)

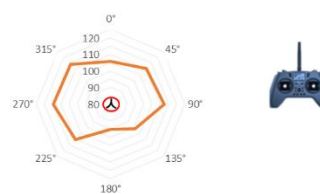


③ ドローン操縦なし、操縦者あり、操縦装置角度 = 斜め(45°)

<中央から 3m の円周上地点における測定結果>

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	105.8	2438.6
45°	110.4	2441.4
90°	112.6	2441.4
135°	101.1	2440.9
180°	95.2	2450.4
225°	110.1	2438.7
270°	114.6	2420.4
315°	114.1	2420.4

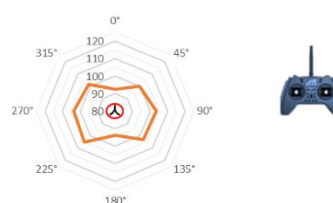
電界強度特性 (dBuV/m)



<中央から 6m の円周上地点における測定結果>

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	92.4	2420.0
45°	99.9	2420.5
90°	103.7	2411.0
135°	102.9	2420.5
180°	93.9	2420.4
225°	104.9	2420.4
270°	103.6	2411.9
315°	101.5	2411.0

電界強度特性 (dBuV/m)

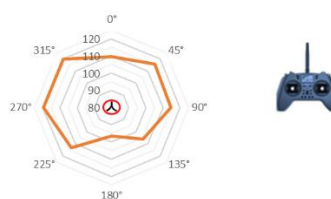


④ ドローン操縦なし、操縦者あり、操縦装置角度 = 水平

＜中央から 3m の円周上地点における測定結果＞

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	109.6	2438.4
45°	115.7	2420.7
90°	114.7	2417.2
135°	106.1	2438.4
180°	96.5	2450.4
225°	113.0	2447.4
270°	119.6	2420.4
315°	119.5	2438.4

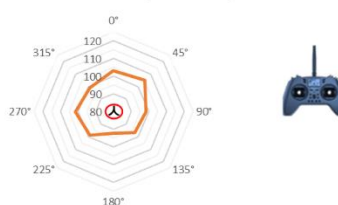
電界強度特性 (dBuV/m)



＜中央から 6m の円周上地点における測定結果＞

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	103.2	2441.4
45°	105.1	2420.9
90°	98.4	2450.4
135°	96.9	2441.4
180°	92.4	2411.4
225°	99.1	2420.5
270°	101.4	2411.5
315°	98.9	2420.4

電界強度特性 (dBuV/m)

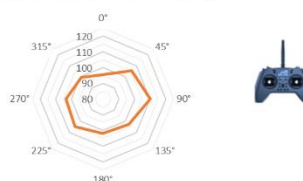


⑤ ドローン操縦なし、操縦者なし、操縦装置角度 = 垂直

＜中央から 3m の円周上地点における測定結果＞

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	95.4	2450.3
45°	105.6	2450.4
90°	109.9	2450.4
135°	103.0	2420.4
180°	101.7	2450.4
225°	104.9	2438.4
270°	103.6	2441.9
315°	99.3	2441.9

電界強度特性 (dBuV/m)

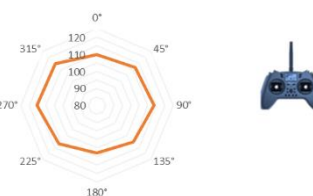


⑥ ドローン操縦なし、操縦者なし、操縦装置角度 = 斜め(45°)

＜中央から 3m の円周上地点における測定結果＞

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	109.9	2441.8
45°	111.8	2450.6
90°	113.5	2420.5
135°	110.5	2441.4
180°	108.0	2450.4
225°	111.9	2450.8
270°	115.3	2441.4
315°	114.8	2438.4

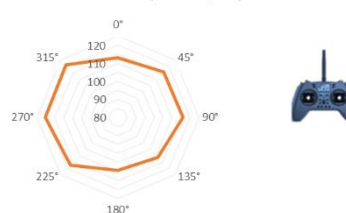
電界強度特性 (dBuV/m)



⑦ ドローン操縦なし、操縦者なし、操縦装置角度 = 水平
 <中央から 3m の円周上地点における測定結果>

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	113.2	2441.4
45°	115.8	2450.4
90°	116.1	2420.4
135°	111.2	2450.4
180°	109.5	2438.4
225°	117.3	2411.4
270°	120.2	2441.4
315°	121.1	2441.4

電界強度特性 (dBuV/m)



【Skydio 2+ 操縦装置】

当操縦装置から放射する電波は以下の①～⑦のような調査結果であった。また、その際の参考波形は図 3.2-26 である。図の縦軸は電界強度の強さ、横軸は周波数である。また、色の濃さは、通信量を表しており、色が濃いほど通信量が多いことを示している。波形からは、15sec の調査時間内に常時約 15MHz 帯域の制御信号の電波を受信したことが読み取れる。Matrice300RTK の操縦装置は周波数ホッピング方式が採用されていたが、当操縦装置では周波数ホッピング方式は確認されず固定の周波数帯域での制御信号が出力されることを確認した。

また、調査結果では Matrice300RTK 操縦装置の調査時同様、操縦の有無に関わらず、人が 180°方向に立っている場合は、180°地点での測定時には人体の影響により、電界強度が低い傾向が確認された。加えて当操縦装置は、0°方向の電界強度が左右に比べ若干低い傾向があることも確認された。また、操縦装置の角度については、水平方向が最も電界強度が高く、垂直方向が最も低い結果であった。

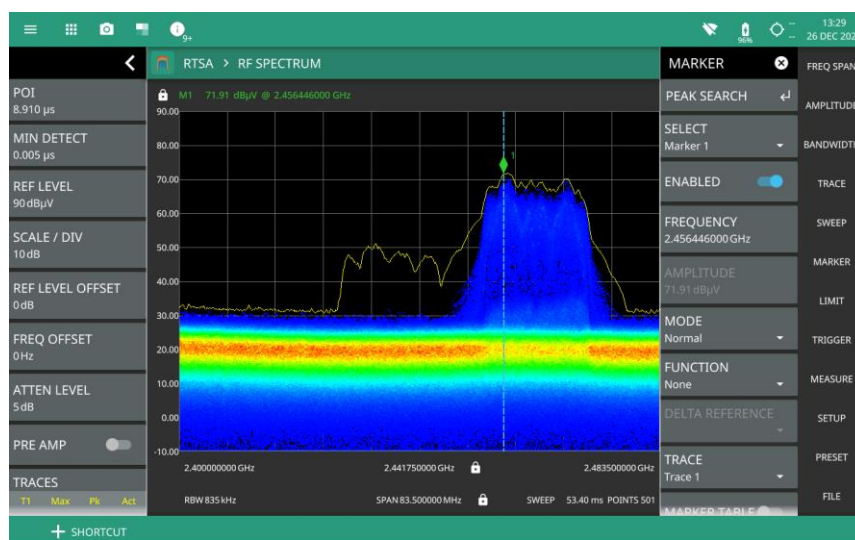


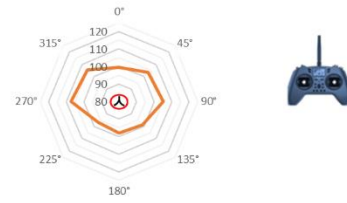
図 3.2-26 Skydio 2+ 操縦装置波形

① ドローン操縦あり、操縦者あり、操縦装置角度 = 垂直

<中央から 3m の円周上地点における測定結果>

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	99.6	2456.4
45°	103.3	2455.4
90°	105.1	2456.4
135°	99.1	2465.3
180°	98.1	2465.6
225°	96.6	2457.1
270°	107.5	2456.3
315°	105.3	2469.0

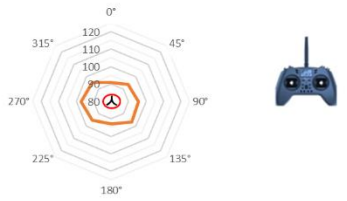
電界強度特性 (dBuV/m)



<中央から 6m の円周上地点における測定結果>

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	90.9	2456.1
45°	94.0	2457.9
90°	95.8	2457.9
135°	96.8	2457.4
180°	92.9	2465.6
225°	95.2	2465.1
270°	97.1	2455.9
315°	95.1	2456.3

電界強度特性 (dBuV/m)

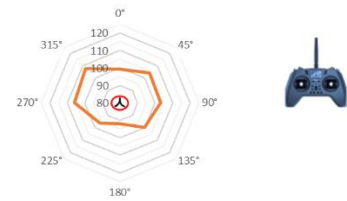


② ドローン操縦なし、操縦者あり、操縦装置角度 = 垂直

<中央から 3m の円周上地点における測定結果>

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	99.2	2431.4
45°	104.0	2444.4
90°	103.1	2431.1
135°	99.9	2431.6
180°	91.8	2442.1
225°	96.2	2431.6
270°	105.8	2431.6
315°	107.7	2444.1

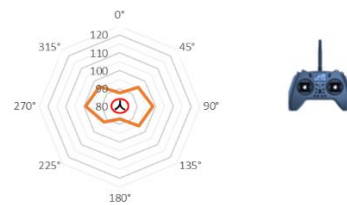
電界強度特性 (dBuV/m)



<中央から 6m の円周上地点における測定結果>

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	87.4	2438.4
45°	94.9	2432.7
90°	98.6	2432.9
135°	95.2	2442.4
180°	87.0	2442.9
225°	92.5	2430.9
270°	99.0	2431.2
315°	95.8	2430.6

電界強度特性 (dBuV/m)

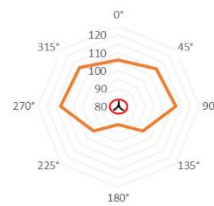


③ ドローン操縦なし、操縦者あり、操縦装置角度 = 斜め(45°)

<中央から 3m の円周上地点における測定結果>

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	106.0	2442.6
45°	109.9	2444.1
90°	112.0	2442.3
135°	99.6	2442.8
180°	90.2	2436.2
225°	99.5	2431.2
270°	112.3	2441.4
315°	110.9	2440.2

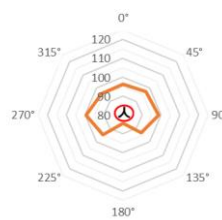
電界強度特性 (dBuV/m)



<中央から 6m の円周上地点における測定結果>

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	96.1	2431.6
45°	97.4	2429.4
90°	98.9	2442.4
135°	93.4	2442.6
180°	84.4	2440.4
225°	94.9	2430.6
270°	99.5	2441.9
315°	95.9	2444.4

電界強度特性 (dBuV/m)

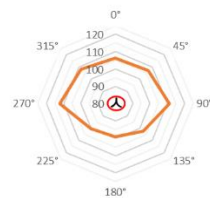


④ ドローン操縦なし、操縦者あり、操縦装置角度 = 水平

<中央から 3m の円周上地点における測定結果>

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	106.5	2441.9
45°	106.9	2433.4
90°	111.4	2431.9
135°	102.7	2432.7
180°	98.9	2431.6
225°	100.2	2440.9
270°	112.1	2431.2
315°	108.0	2440.1

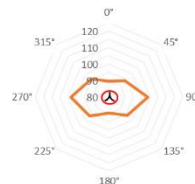
電界強度特性 (dBuV/m)



<中央から 6m の円周上地点における測定結果>

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	89.5	2431.4
45°	94.0	2433.1
90°	103.6	2442.1
135°	95.8	2433.2
180°	89.9	2432.9
225°	96.5	2431.1
270°	103.3	2431.4
315°	95.3	2444.4

電界強度特性 (dBuV/m)

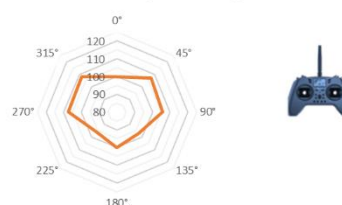


⑤ ドローン操縦なし、操縦者なし、操縦装置角度 = 垂直

<中央から 3m の円周上地点における測定結果>

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	99.9	2456.8
45°	107.1	2454.3
90°	105.8	2457.4
135°	97.1	2455.9
180°	100.2	2457.8
225°	96.0	2456.3
270°	107.4	2456.9
315°	108.0	2454.4

電界強度特性 (dBuV/m)

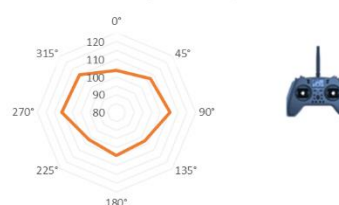


⑥ ドローン操縦なし、操縦者なし、操縦装置角度 = 斜め(45°)

<中央から 3m の円周上地点における測定結果>

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	103.9	2456.4
45°	107.2	2458.5
90°	110.5	2456.9
135°	102.7	2457.6
180°	104.3	2457.1
225°	101.8	2456.1
270°	110.9	2455.9
315°	109.9	2454.4

電界強度特性 (dBuV/m)

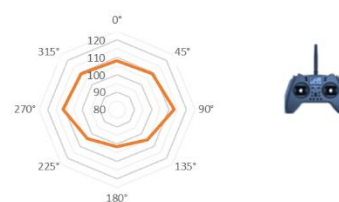


⑦ ドローン操縦なし、操縦者なし、操縦装置角度 = 水平

<中央から 3m の円周上地点における測定結果>

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	108.1	2456.4
45°	109.0	2458.5
90°	112.8	2456.9
135°	104.6	2458.3
180°	101.5	2456.9
225°	103.9	2456.8
270°	111.1	2456.8
315°	109.0	2454.8

電界強度特性 (dBuV/m)



■ドローン本体 電界強度と電波周波数調査の詳細

以降に Matrice300RTK 本体、Skydio 2+ 本体の電界強度と電波周波数の調査結果を示す。また、調査結果は、調査ポイント（角度）に応じた電界強度値を円チャートで記したグラフも合わせて掲載する。2 機種種の調査結果からは、調査ポイント 3m、6m の場合、電界強度の値は 3m> 6m となった。これは、3m の距離の違いによる自由空間ロスの影響である。

【Matrice300RTK 本体】

当ドローンから放射する電波は以下の①～④のような調査結果であった。また、その際の参考波形は図 3.2-27 および図 3.2-28 である。図の縦軸は電界強度の強さ、横軸は周波数である。また、色の濃さは通信量を表しており、色が濃いほど通信量が多いことを示している。波形は、FPV 映像情報発信時のみ、FPV 映像情報発信 + 撮影映像情報発信時をそれぞれ示す。両条件ともに 15sec の調査時間内に常時約 20MHz 帯域の信号を受信したことが読み取れる。また、撮影映像情報発信を追加した際は、FPV 映像情報発信より通信量は少ないと思われる約 15MHz 帯域の信号を受信した。調査結果では、当ドローンは全周囲においてあまりばらつきの無い結果であり、極端にある方向のみ電界強度が低いなどのような特異点は確認されなかった。

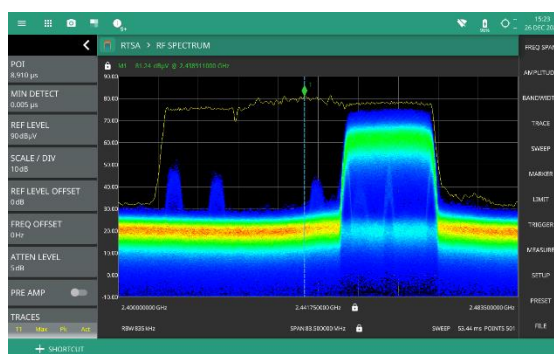


図 3.2-27FPV 映像情報発信時 Matrice300RTK 本体波形

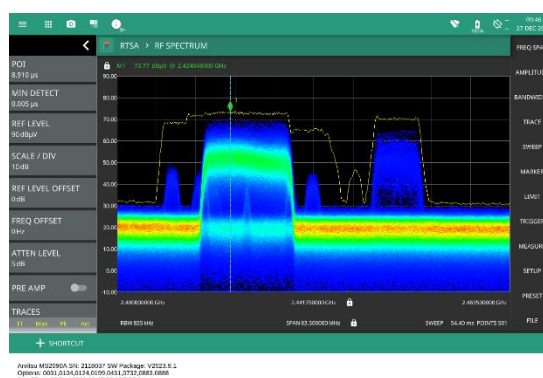
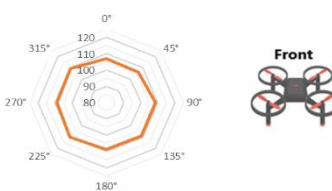


図 3.2-28FPV 映像情報発信 + 撮影映像情報発信時 Matrice300RTK 本体波形

① FPV 映像情報発信、ドローン飛行高度：2m
 <中央から 3m の円周上地点における測定結果>

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	107.1	2435.2
45°	106.5	2438.1
90°	108.6	2435.2
135°	108.7	2439.1
180°	108.9	2438.9
225°	109.9	2435.2
270°	108.9	2438.1
315°	109.4	2432.2

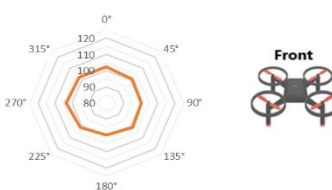
電界強度特性 (dBuV/m)



<中央から 6m の円周上地点における測定結果>

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	102.2	2451.9
45°	101.0	2454.1
90°	100.5	2410.2
135°	101.5	2455.3
180°	99.9	2452.1
225°	101.3	2460.0
270°	103.6	2453.9
315°	102.5	2460.5

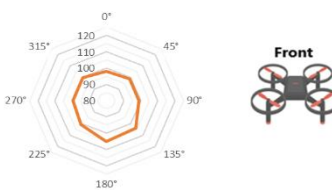
電界強度特性 (dBuV/m)



② FPV 映像情報発信、ドローン飛行高度：5m
 <中央から 3m の円周上地点における測定結果>

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	98.1	2447.9
45°	98.9	2457.8
90°	99.1	2450.8
135°	104.1	2455.3
180°	105.0	2460.0
225°	101.0	2449.6
270°	99.5	2451.9
315°	99.7	2461.0

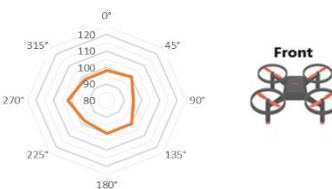
電界強度特性 (dBuV/m)



<中央から 6m の円周上地点における測定結果>

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	98.2	2457.1
45°	100.1	2430.1
90°	95.4	2410.2
135°	100.0	2457.1
180°	100.1	2410.2
225°	97.6	2458.6
270°	101.8	2459.0
315°	97.8	2423.7

電界強度特性 (dBuV/m)

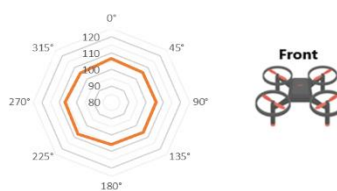


③ FPV 映像情報発信 + 撮影映像情報発信、ドローン飛行高度：2m

<中央から 3m の円周上地点における測定結果>

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	106.6	2440.2
45°	105.6	2428.9
90°	105.7	2433.4
135°	106.0	2426.6
180°	105.8	2431.7
225°	107.3	2460.0
270°	106.6	2433.4
315°	105.2	2432.9

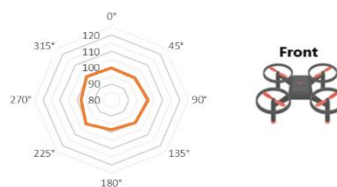
電界強度特性 (dBuV/m)



<中央から 6m の円周上地点における測定結果>

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	99.9	2415.4
45°	99.3	2410.2
90°	101.4	2424.0
135°	99.9	2431.6
180°	98.5	2458.8
225°	101.0	2432.2
270°	97.7	2431.6
315°	100.5	2463.8

電界強度特性 (dBuV/m)

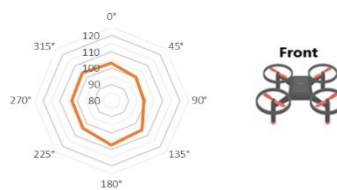


④ FPV 映像情報発信 + 撮影映像情報発信、ドローン飛行高度：5m

<中央から 3m の円周上地点における測定結果>

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	103.2	2437.9
45°	100.2	2439.1
90°	98.9	2438.1
135°	105.5	2443.9
180°	107.4	2439.7
225°	103.6	2440.9
270°	103.2	2437.9
315°	104.0	2443.8

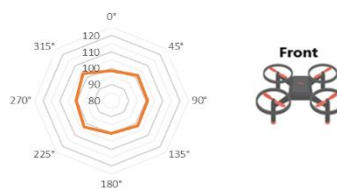
電界強度特性 (dBuV/m)



<6m>

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	98.3	2443.9
45°	101.6	2437.9
90°	101.1	2438.1
135°	101.8	2432.2
180°	100.2	2440.9
225°	102.8	2443.8
270°	100.4	2438.1
315°	103.6	2439.7

電界強度特性 (dBuV/m)



【Skydio 2+ 本体】

当ドローンから放射する電波は以下の①～②のような調査結果であった。また、その際の参考波形は図 3.2-29 である。図の縦軸は電界強度の強さ、横軸は周波数である。また、色の濃さは、通信量を表しており、色が濃いほど通信量が多いことを示している。波形からは、15sec の調査時間内に常時約 20MHz 帯域のデータ通信される電波を受信したことが読み取れる。また、調査結果では、当ドローンは 180°方向の電界強度が低い傾向が確認された。

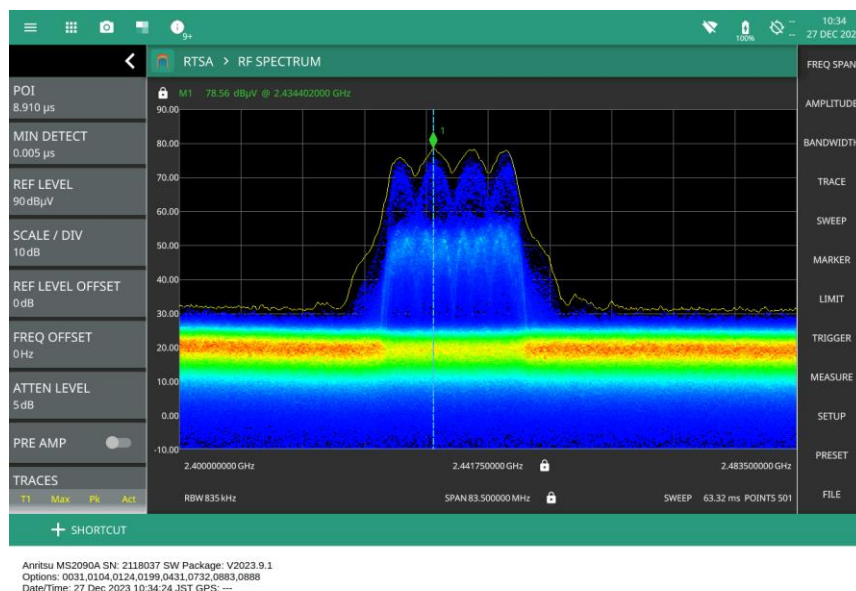
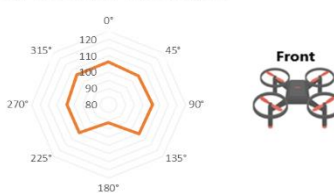


図 3.2-29 Skydio 2+ 本体波形

① FPV 映像情報発信、ドローン飛行高度：2m
 <中央から 3m の円周上地点における測定結果>

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	106.2	2434.4
45°	104.9	2441.9
90°	105.6	2443.4
135°	105.2	2442.3
180°	91.2	2434.4
225°	104.2	2443.4
270°	104.2	2441.1
315°	105.9	2431.7

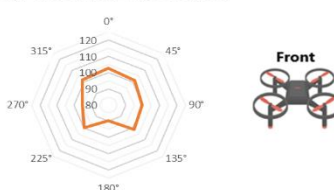
電界強度特性 (dBuV/m)



<中央から 6m の円周上地点における測定結果>

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	102.6	2441.4
45°	101.5	2442.1
90°	99.6	2433.6
135°	101.3	2442.1
180°	89.6	2432.4
225°	99.8	2439.9
270°	95.3	2440.4
315°	101.8	2441.9

電界強度特性 (dBuV/m)



② FPV 映像情報発信、ドローン飛行高度：5m
 <中央から 3m の円周上地点における測定結果>

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	101.7	2434.6
45°	100.4	2441.4
90°	99.0	2433.2
135°	101.5	2439.2
180°	101.8	2439.9
225°	102.0	2441.2
270°	96.3	2441.4
315°	99.0	2442.4

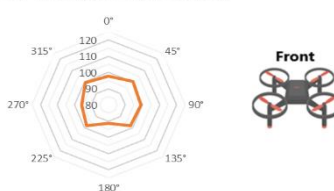
電界強度特性 (dBuV/m)



<6m>

調査ポイント	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	97.7	2439.9
45°	100.2	2431.7
90°	99.0	2433.6
135°	98.0	2440.4
180°	91.4	2439.2
225°	98.0	2443.3
270°	95.7	2435.6
315°	99.3	2431.7

電界強度特性 (dBuV/m)



f. その他の考察

■ 操縦装置の電波に関する参考情報

今回調査を実施した 2 機種(Matrice300RTK、Skydio 2+)の操縦装置の電界強度の調査時には、操縦装置からの制御信号は OFF、電源は ON 状態、またその他電波を放射する可能性のある機器は電源を OFF にし、対象とする**操縦装置のみ電源が入っている状態**での電界強度測定を実施した。

今回使用した電波暗室では外部環境からの電波を遮断しているため、本来図 3.2-30 のように電波無受信状態が継続される。しかし、操縦装置のみ電源を ON にすると図 3.2-31 に示すように、調査帯域を横断移動する信号が、7sec に 1 回程度の頻度にて観測された。おそらく本信号は、操縦装置が Wi-Fi 通信接続先を検出するために発信しているスキャン信号（プローブ）と推定される。この取得波形は、Skydio 2+ 操縦装置を調査した際の波形であるが、波形の形状は異なるものの同様な信号を Matrice300RTK 操縦装置でも同様な現象を確認した。

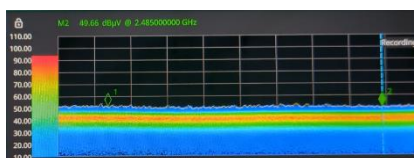


図 3.2-30 操縦装置電源:OFF 制御信号:OFF

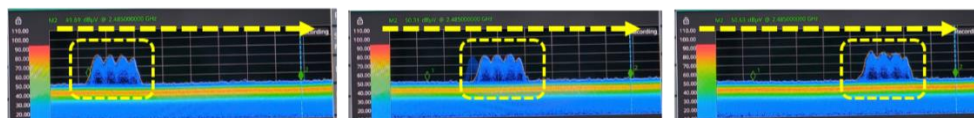


図 3.2-31 縦装置電源:ON 制御信号:OFF

下記図 3.2-32 は下限周波数を 2387MHz、上限周波数を 2497MHz、スパンを 110MHz に設定し数秒間モニタリングした波形である。また、波形下部の緑の部分は時間経過を表しており、7.16sec モニタリングした間に信号の軌跡(オレンジ線)が 2 本あることが読み取れる。これは同一信号が 2 回発生したこと、また約 1sec の間に左から右へ流れたことが読み取れる。なお、今回確認された信号は、下記図 3.2-32 内に赤矢印で示したように日本国内で利用が認められている Wi-Fi 電波 2.4GHz 帯の下限値(≒2400MHz)～上限値(≒2480MHz)の周波数帯のみであることも併せて確認した。

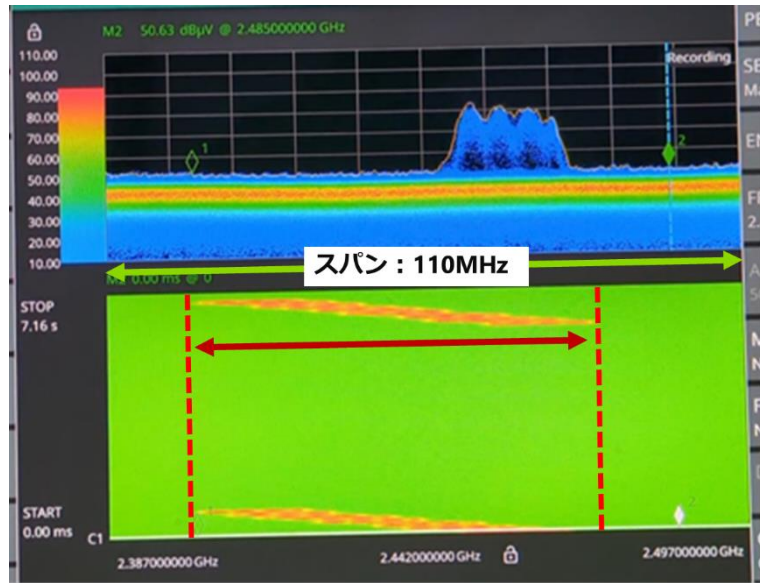


図 3.2-32 モニタリング波形

■ ドローン本体電波調査に関する参考情報

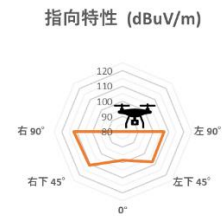
今回調査を実施した 2 機種(Matrice300RTK、Skydio 2+) 本体の左・右・下方向の電界強度についても調査を実施した。結果として、Matrice300RTK、Skydio 2+ とともにドローン直下の電界強度が低いことが確認された。以下にそれぞれの調査結果について、調査ポイント（角度）に応じた電界強度値を円チャートで記したグラフとともに記載する。なお、当調査は図 3.2-33 イメージ写真のようにドローンを人が手に持ち、0°方向をドローン直下とし、人の左手方向を左 90°、人の右手方向を右 90°とし調査ポイントは中央から 3m の場所で試験的に実施した参考データである。



図 3.2-33 イメージ写真

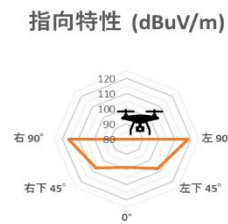
✓Matrice300RTK

調査方向	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	98.4	2415.4
右下 45°	110.9	2440.2
右 90°	111.9	2410.4
左下 45°	107.6	2437.9
左 90°	107.1	2418.4



✓Skydio 2 +

調査方向	電界強度 (dBuV/m)	周波数 (MHz)
0°	98.6	2433.6
右下 45°	106.9	2434.6
右 90°	116.1	2433.6
左下 45°	107.3	2441.4
左 90°	118.2	2440.1



(ウ) 信頼性

配信映像の遮断、画質劣化等は、通信状況に大きく左右され、配信元だけではなく受信側の通信環境も影響するため事前確認が重要となる。通信環境に問題がない場合でも、配信映像の品質に関し、リアルタイム動画圧縮によるブロックノイズの発生を抑止するため、大きく（素早く）動かないように注意することで、配信映像の品質低下を抑止することが可能である。表 3.2-20 配信映像の劣化を示すが、リアルタイム配信において断続的に生じることはなく、確認に必要な撮影データを送信できずに実証が中断するような事態までは生じなかった。

表 3.2-20 配信映像の劣化

	ブロックノイズ	カメラ手振れ
等倍映像		
拡大映像		

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は、今回使用したシステム構成（Zao Cloud View を使用した構成）の場合、映像受信側からの音声のみ発信可能なため、携帯電話による通話を使用した。携帯電話による通話を使用することで、タイムラグのないやり取りが可能であったが、他方で、映像配信のタイムラグが生じることもあった。映像配信のラグは、より電波の強いキャリアを活用することによって改善できる可能性がある。

検査を実施している場所の真正性の担保についても、Zao-S 本体に GPS が内蔵されており、映像配信実施中の座標を、受信側の PC 画面上に表示することが可能であり、映像配信元の位置特定ができる。実際に配信映像の受信画面に GPS 座標が表示された画面を図 3.2-34 に示す。

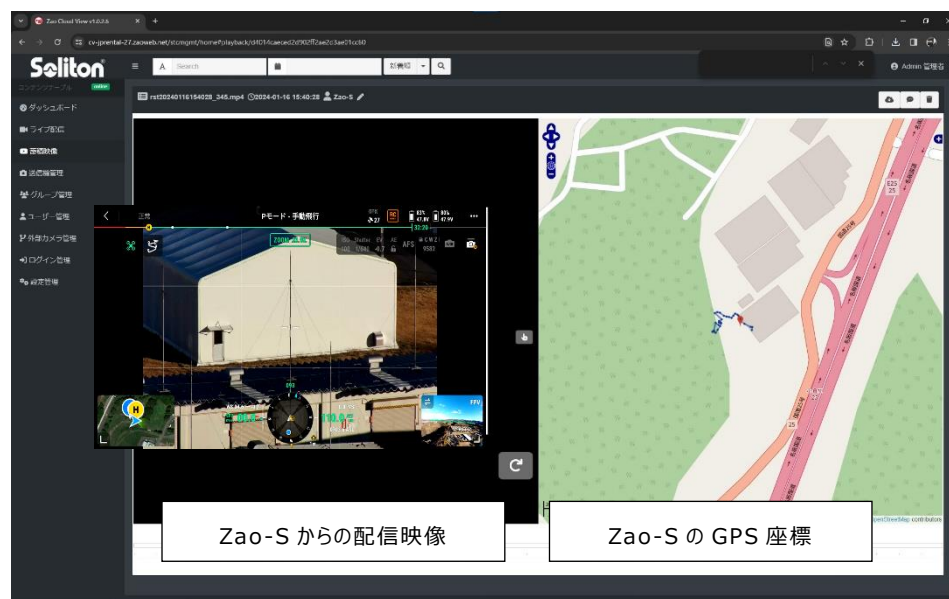


図 3.2-34 Zao-S の GPS 座標表示画面

(工) 工数

本実証項目における作業は業務効率化のため、実証項目③（3.2.3）と同時に実施した。合計の作業時間は約 14 時間であり、本実証項目の作業時間は半分程度であったことから、7 時間程度と予想される。本実証項目で実施したドローンの飛行パターンは合計で 11 パターン（ポイント 1~3×飛行高度）であるため、1 パターンに必要な時間は 40 分程度であると考えられる。（ア）で考察した 8 パターン（4 方向×2 高度）で検査可能とした場合 320 分（5 時間 20 分）ほどの作業時間が必要となる。また、ドローンを飛行させようと考えた場合、申請手続や機材の準備等に時間を要する。

以上を踏まえた各作業時間を

表 3.2-21 に示す。なお、「当日の作業時間」は、本技術実証で実施された時間を基に、項目（ア）に記載の 8 つのパターンに割り当てた場合の時間である。

表 3.2-21 ドローンによるリアルタイム配信の工数

作業項目	導入	運用			備考
		回	月	年	
アクティベート、初期設定	3 時間				ドローン及び配信装置のアクティベート、初期設定
事前の作業時間		1 時間			ドローンと配信装置の充電、保存媒体の整理等で前日までにかかる準備の作業時間
飛行許可申請	3 時間			3 時間 (2 年目以降)	国土交通省への飛行許可申請
飛行計画の通報		1 時間			DIPS2.0 への飛行計画通報
当日の作業時間		4 時間			機材準備、飛行、移動時間、飛行日誌作成、データ確認
合計	6 時間	5.5 時間		3 時間	

従来の検査手法では検査員が現場に向かい作業を行うが、検査を受ける側（火薬類取扱施設等の管理事業者側）でドローンによるリアルタイム配信を行う前提で、この手法に置き換えた場合には移動時間の削減が期待できる。実際に検査を実施している検査員にヒアリングを行ったところ、実際の検査にかかる時間は 1 時間程度であるが、危険工室、火薬庫等は森林部にあることが多く移動時間のみで片道 3~4 時間必要な場合がある。移動時間と作業時間を合計した時間で作業可能であることから、作業時間の差は大きく変わることはない。

（オ）コスト

ドローンによるリアルタイム配信にかかる費用は、導入費用が約 351 万円となり、ランニングコストは月ごとに 7 万円となった。ドローンの機体や映像配信装置を導入する必要があるため初期費用は高額になる。施設の一部を変更する小規模な完成検査では、従来手法の検査時間とドローンを使用したリアルタイム配信を使用した検査時間に大きな差はないことから、コスト低減という観点では不向きと言える。しかし、施設全体の完成検査や定期的に行われる保安検査では、広範囲を検査する必要があるため検査時間が長くなり、結果として労務費の増加が予想されることから、一定程度の検査項目について目視等を現地で行う必要なく確認ができることを踏まえるとリアルタイム配信を用いることによりコストの削減が見込まれる。

また、3.2.1.2 に記載する携帯型カメラによるリアルタイム配信との併用により、敷地全体の外観確認はドローンを、屋内や詳細な検査は携帯型カメラを使用することで、コストのさらなる削減が見込まれる。

表 3.2-22 ドローンによるリアルタイム配信のコスト

機器・システム	導入費用	ランニングコスト			備考
		回	月	年	
ドローン機体	107 万円				DJI 社製 Matrice350RTK 想定
ドローンカメラ	36 万円				DJI 社製 ZenmuseH20 想定
ドローンバッテリー	80 万円				DJI 社製 TB65 (10 万円) 8 個
ドローンバッテリー充電器	28 万円				DJI 社製 BS65 (14 万円) 2 機
映像配信装置	100 万円				Zao-S
映像配信システム			6 万円		Zao-Cloudview
データ通信用 SIM			1 万円		
合計	351 万円		7 万円		

3.2.1.2 携帯型カメラによるリアルタイム配信

(1) 携帯型カメラによるリアルタイム配信結果

撮影に用いた iPad のカメラ映像と、Zao-S から配信されたリアルタイム映像を表 3.2-23 映像画質比較に示す。通信品質が安定した状況で、iPad のカメラを撮影対象に向けて静止した状態を維持することで映像画質が良い状態を維持して、目視による点検（機材の設置状況、測定機器の数値）項目を遠隔確認できる映像品質が維持できる。静止していない移動中などは後述するカメラブレや動画圧縮時のブロックノイズ等により映像画質は低下する。現地で iPad の画面上では映像品質の劣化は認識できず、遠隔確認側のみ映像画質劣化が起こるため、点検項目にカメラを向ける際には意図的に静止した状態を維持する意識が必要となる。また壁面の材質判断をする際には手触りによる凹凸や温度、塗膜有無が映像では伝わらないため、木材、鉄、アルミなどの明確な判断は困難である。リアルタイムで送信と受信側で映像確認しながら進める場合は、映像品質が安定した状況を待ち時間として考慮することができるが、送信映像をクラウド上に保存して、後日受信側が確認する場合は、必要な映像がノイズで見れない状況が発生することになるため注意が必要である。

表 3.2-23 映像画質比較

iPad のカメラ映像	Zao-S から配信されたリアルタイム映像
	
	
	



※比較用になるべく同一のタイミング映像を切り出しているが、受信側はカメラブレ、動画圧縮によるブロックノイズ等により映像画質が低下している時間があり、若干の遅延があるため、iPad の操作画面が映像に映っている。

※映像配信と合わせて Pinspect の操作を実施しているため、緑色のピンが一部映像に映っている。

(2) 携帯型カメラによるリアルタイム配信の評価及び分析

(ア) 精度

iPad のカメラ画質 1,200 万画素に対し、Zao-S が対応している配信映像の最高画質は 1920x1080i (720p) の約 200 万画素であり、iPad そのままの画質では配信できないが、撮影対象に近づく（具体的な接写距離は公開されていないが、5cm 程度であればピントが合う）こと、または近づけない場合でもズーム機能（光学式とデジタル式の複合の為、ズーム倍率によっては画質は低下する）を使用して、文字や数値を認識できる画質は確保できる。画質の一例として表 3.2-24 配信映像の画質を示す。

なお、今回の実証時、火薬類製造施設の火薬工室、火薬庫において映像配信を行える通信速度が確保できなかったため、当該箇所の映像は含まず、新宇商店施設を用いた検証時の写真を掲載する。

表 3.2-24 配信映像の画質

	iPad のカメラ映像	Zao-S から配信されたリアルタイム映像
等倍映像		
拡大映像		

Zao-S の映像配信よりも高画質化を望む場合は、後継機の Zao-X（最高画質：3840x2160）を使用することで対応が可能と考えられる。

(イ) 安全性

防爆仕様の Zao-S および iPad は準備できなかったため、火薬類が実証設備に一切保管されていない日時に実施することを条件に、非防爆仕様の機器を使用して検証を実施した。


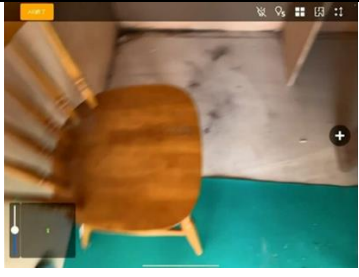


防爆仕様の iPad については、iPad mini（第二類危険箇所（Zone2）のみ使用可能）を用いた端末がインターネット上に公開されているが、販売価格が 10 倍程度となること、iPad シリーズに使用できる防護仕様ケースは海外メーカー製の海外防爆認証製品（日本防爆検定無し）となるため、使用場所の検討、使用頻度を増やすなどのコスト対策の検討が重要となる。

(ウ) 信頼性

配信映像の遮断、画質劣化等は、通信状況に大きく左右され、配信元だけでなく受信側の通信環境も影響するため事前確認が重要となる。通信環境に問題がない場合でも、配信映像の品質に関し、リアルタイム動画圧縮によるブロックノイズの発生を抑止するため、大きく（素早く）動かないように注意す

ることで、映像配信の品質低下を抑止することが可能である。表 3.2-25 映像配信の劣化を示す。通信環境が良好な状況で、送信側と受信側が点検項目の意識合わせを行いながら点検を実施可能な場合、点検ミス、点検漏れを無くし、測定においても適切な測定範囲を確認しながらできるなど、信頼性の高い点検が実施可能である。

表 3.2-25 映像配信の劣化

	ブロックノイズ	カメラ手振れ
等倍映像		
拡大映像		

検査を実施している場所の真正性の担保についても、Zao-S 本体に GPS が内蔵されており、映像配信実施中の座標を、受信側の PC 画面上に表示することが可能であり、映像配信元の位置特定ができる。実際に映像配信の受信画面に GPS 座標が表示された画面を図 3.2-35Zao-S の GPS 座標表示画面に示す。



図 3.2-35Zao-S の GPS 座標表示画面

(エ) 工数

配信元（Zao-S）および受信側（PC 等）の初期設定（ビューアアプリのインストールと接続設定で 10 分かからない程度）が終了済みの場合、Zao-S を検査対象地で電源投入（HDMI 出力のある機器に接続する）するだけで、リアルタイム映像の配信は実施される（リアルタイムで意思疎通を図る場合は、通話用回線として携帯電話が別途必要）。

(オ) コスト

本技術実証と同じ構成の場合、Zao-S の使用料（月額 6 万円）および通信費用（月額 1 万円）は必要となるが、検査員が各地の検査対象地まで直接向かう費用（交通費）の削減効果および、現地での検査実施を検査員以外の代行者が実施する可能性も生まれる。

3.2.2 点群データによる計測

3.2.2.1 ドローン搭載レーザスキャナによる点群データの取得

(1) 結果

ドローン搭載レーザスキャナによる点群データの取得結果は図 3.2-36 に示すとおりとなった。



図 3.2-36 ドローンによる点群取得結果

(2) 結果の評価と分析

(ア) 精度

データ取得のため精度の評価は実施しない。

(イ) 安全性

ドローンを使用した実施項目となるため安全性の評価結果は、3.2.1 ドローン搭載カメラによるリアルタイム配信と同様となる。

レーザの人体への影響については、ドローンで用いられているレーザはクラス 1 の波長であり、人体への影響はなく安全なレーザ製品である。

(ウ) 信頼性

本実証項目の実証中、活用した 3 種類の計測機器のいずれについても実証を中断するような動作不良が生じることはなく、問題なく必要な点群データを取得することができた。スキャンしたデータは、デジスキャン使用中にリアルタイムでのデータ送受信は行わず、点検終了後に事務所等の安定した Wi-Fi 環境下において送受信を行う。

被検査者が点群データ取得を代行する場合は、リアルタイムではなく、検査者が確認しながら行われたい。このため、データ取得不正や取得後のデータ改ざんのリスクがある。これらの改ざん抑止策としては、前者はリアルタイム映像との対比で撮影箇所の正確性を確認する。後者は、取得データを点群データ変換前の RAW データのまま検査者に提出させ、検査側で点群加工・計測を行う等の対応が考えられる。あ

るいは、検査者が点群データ取得・計測を測量会社等に委託することで改ざんリスクを回避することも考えられる。ただし、RAW データ転送では検査側が点群データ変換と計測用のアプリ・環境の準備とアプリ操作基礎知識など追加が必要となる。計測代行の場合には、委託費用が別途必要となる点には留意すべきである。

一方、データ送信時には、通信障害等によるデータ破損、不正アクセスによるデータ漏えいや改ざんなどのリスクがあるが、安定した Wi-Fi 環境で通信中のデータも暗号化されることから、破損や第三者による改ざん・外部への漏えいへの対策が行われている。

(エ) 工数

工数の評価については試験場を前提として評価する。

本技術実証でドローンの点群計測にかかった時間は、機材の準備に 10 分、飛行プラン作成に 10 分、飛行に 15 分、データ確認に 15 分、撤収作業に 10 分の合計 60 分程度の作業となった。地上型レーザースカナの作業時間と比較した場合、10 分の 3 程度の作業時間となった。精度としても地上型レーザースカナと比べ遜色ないことから、屋外での点群取得における、工数対精度はドローンを使用した点群取得が最も高い結果となった。ただし、ドローンによる点群計測は、火薬等が取り扱われる前の完成検査のみ適用可能なため、検査の種類により使い分けることが重要となると考える。

(オ) コスト

ドローンにかかるコストは、3.2.1 ドローン搭載カメラによるリアルタイム配信の結果をもとに算出する。ドローンに用いるレーザー計測器は 160 万円程度で購入可能なことから、機材にかかる費用は、約 375 万円程度必要であることがわかる。

3.2.2.2 携帯型・地上型レーザースカナによる点群データの取得

(1) 結果

携帯型・地上型レーザースカナを使用した点群データの取得結果は図 3.2-37 から図 3.2-38 に示すとおりとなった。

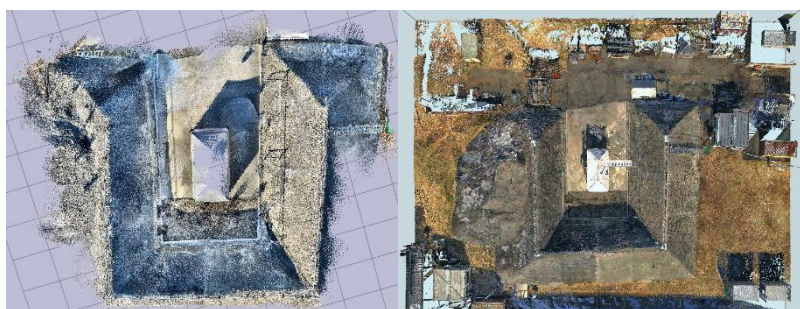


図 3.2-37 試験場（左：携帯型レーザースカナ、右：地上型レーザースカナ）



図 3.2-38 危険工室（左：携帯型レーザスキャナ、右：地上型レーザスキャナ）

（２）結果の評価と分析

（ア）精度

データ取得のため精度の評価は実施しない。

（イ）安全性

●携帯型レーザスキャナ（デジスキャン）

レーザの人体への影響については、iPad で用いられているレーザはクラス 1 の波長であり、人体への影響はなく安全なレーザ製品である。

携帯型レーザスキャナ（デジスキャン）は、iPad の画面を注視して周囲が見えにくくなることもあり、屋内で移動が少ない場合での利用として、安全を確保する。仮に屋外等で移動を伴う利用では、配管や段差・溝で足を踏み外す、人との接触等の危険性があるため、移動環境（配管や段差の有無）の事前確認や作業中の周知看板設置、作業エリア内の区分等の対策で安全を確保する。また、携帯型機器の利用上の注意事項も整備しておく。

●地上型レーザスキャナ（FARO）

レーザの人体への影響については、FARO で用いられているレーザはクラス 1 の波長であり、人体への影響はなく安全なレーザ製品である。

なお、本技術実証では、火薬類の存在する工室や火薬庫での実証は行っていない。しかし、実際に火薬類取扱施設でレーザスキャナによるスキャンを実施する場合は、万が一にも火薬類へのレーザ照射のリスクも踏まえ、改めて火薬類が爆発しないことを検証し、安全性を確認する必要があると考える。

（ウ）信頼性

●携帯型レーザスキャナ（デジスキャン）

スキャンしたデータは、デジスキャン使用中にリアルタイムでのデータ送受信は行わず、点検終了後に事務所等の安定した Wi-Fi 環境下において送受信を行う。データ取得時、送信時のデータ改ざんや漏えいリスクに対して、3.2.2.1 携帯型・地上型レーザスキャナによる点群データの取得と同様の対策が考えられる。

また、徒歩で移動しながら、iPad 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、データ取得すると、移動や振りの範囲が広がるほど GPS やコンパスの精度誤差によりデータに歪みが生じやすい点には留意が必要である。

●地上型レーザスキャナ（FARO）

データ取得・送信時の改ざん、漏えいリスクの対策は、前項と同様である。

計測時、機器本体のミラー部分に傷を付けたり損傷を与えたりする可能性のあるものと接触しないように注意する必要がある。また、モデルに関係なく、FARO の防水性能は IP54 であり、防水仕様ではないため、水や液体に浸からないように考慮する必要がある。

点検記録アプリで取得したピンの位置情報を点群データ上に可視化させる場合や BIM モデルを作成する場合などで屋外、屋内で計測した点群データを一つのデータにする必要がある場合は、図 3.2-39 の赤枠のようにポイントを追加で計測する必要がある。

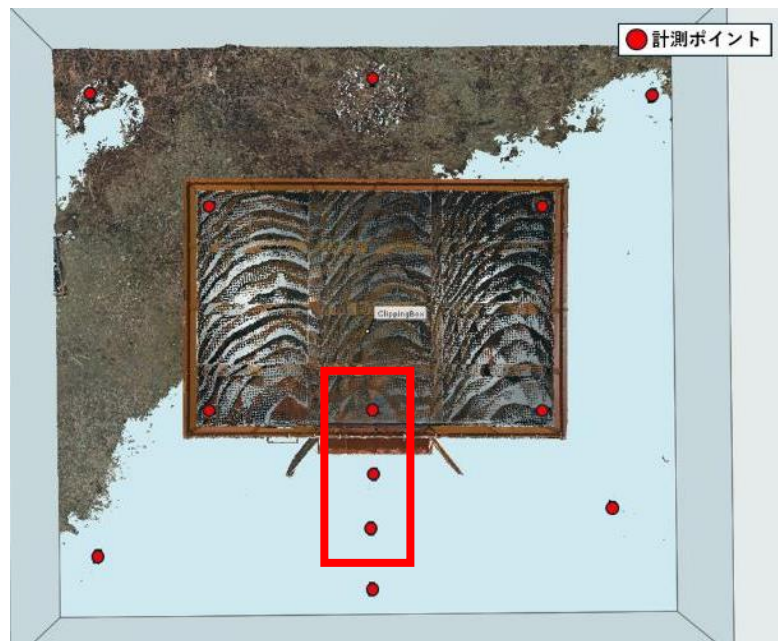


図 3.2-39 地上式 2 級火薬庫

(工) 工数

各項目の工数の評価については試験場を前提として評価する。

●携帯型レーザスキャナ（デジスキャン）

iPad のみでスキャン工程から 3D 点群データ作成、3D 点群データ閲覧までが実施可能であり、地上型レーザスキャナよりも手軽に実施及び閲覧が可能となる。測定が必要な場合は WEB 上のアプリケーションで実施する。

●地上型レーザスキャナ（FARO）

本技術実証で地上型レーザスキャナの点群計測にかかった時間は 1 ポイントあたり 10 分程度で 20 か所の計測を行ったため、合計 200 分程度の作業となった。iPad、ドローンよりも計測に時間は掛かるが高精度な点群データが取得できる。

(オ) コスト

●携帯型レーザスキャナ（デジスキャン）

開発中アプリを使用したため、コストの公開はできないが、一般的に購入できる点群取得が可能な iOS アプリは無料で導入可能である。

●地上型レーザスキャナ（FARO）

地上型レーザスキャナにかかるコストは 1000 万円程度である。iPad、ドローンよりもコストは掛かるが高精度な点群データが取得できる。

3.2.2.3 取得した点群データによる距離・勾配の計測

（1）結果

本実証項目では 3 種類の計測機器を用いて点群データを取得した。従来の検査手法で巻尺等による計測を行っている項目に対し点群データでの計測が有効であることを確認するため、それぞれの計測機器によって取得した点群データから計測した値と実測値を比較した。それぞれの機器の計測誤差を算出した結果を表 3.2-26 点群データの測定値表に示す。また、本技術実証の中で実測値と比較した計測誤差の平均値を表 3.2-27 に示した。

ただしデジスキャンについては、別表第二および別表第四の火薬庫の窓や通気口などセンチメートル単位での検査を求められる項目については設備の構造を判別することが困難だったため実施不可という結果となった。

勾配の計測誤差が高くなっている要因として、本技術実証で取得した点群データは平らなコンクリートとは異なり植生や石、凹凸等がある施設で計測を行っているため、選択した点によって誤差が大きくなったことが考えられる。

仮に傾斜が均一な斜面のみで精度検証を行った場合の計測誤差は大幅に改善されることが想定される。

表 3.2-26 点群データの測定値表

実施場所	計測箇所	計測対象	実測値（巻尺／ 傾斜計）※1	携帯型レーザーキャナ （デジスキャン）			地上型レーザーキャナ （FARO）			ドローン搭載レーザーキャナ （Zenmuse L1）		
				計測値	誤差	誤差（%）	計測値	誤差	誤差（%）	計測値	誤差	誤差（%）
試験場	① 離隔（水平）	施設（火薬庫から土堤まで）の寸法	2.758m	2.83m	0.072m	2.54	2.756m	0.002m	0.07	2.615m	0.143m	5.47
	② 離隔（水平）	施設（火薬庫から土堤まで）の寸法	2.945m	2.861m	0.084m	2.94	2.949m	0.004m	0.14	2.922m	0.023m	0.79
	③ 離隔（水平）	施設（火薬庫から土堤まで）の寸法	3.925m	3.821m	0.104m	2.72	3.928m	0.003m	0.08	3.913m	0.012m	0.31
	④ 離隔（高さ）	堤脚の寸法	0.275m	0.278m	0.003m	1.08	0.283m	0.008m	2.83	0.294m	0.019m	6.46
	⑤ 勾配	土堤の角度	41.1 度	38.7 度	2.4 度	6.2	39.93 度	1.17 度	2.93	40.3 度	0.8 度	1.99
	⑥ 勾配	土堤の角度	40.5 度	38 度	2.5 度	6.58	38.53 度	1.97 度	5.11	38 度	2.5 度	6.58
	⑦ 勾配	運搬通路の角度	2.93 度	3.46 度	0.53 度	15.32	3.04 度	0.11 度	3.62			
	⑧ 勾配	運搬通路の角度（テント前）	0.71 度				0.61 度	0.1 度	16.39	0.91 度	0.2 度	21.98
危険工室	⑨ 離隔（水平）	施設（火薬庫から土堤まで）の寸法	4.594m				4.288m	0.306m	7.14			
	⑩ 離隔（高さ）	温湿度計を置いている機の寸法	0.699m	0.672m	0.027m	4.02	0.702m	0.003m	0.43			
	⑪ 勾配	土堤の角度	21.2 度	17.5 度	3.7 度	21.14	30.52 度	9.32 度	30.54			
火薬類一時置場	⑫ 離隔（高さ）	堤脚の寸法	0.398m	0.404m	0.006m	1.49	0.404m	0.006m	1.49			

※離隔は m 単位、勾配は傾斜角度

※1 実測とは離隔は巻尺、勾配は傾斜計で実際に計測を行った値である

表 3.2-27 点群データの測定値で算出した平均値

誤差	携帯型レーザーキャナ （デジスキャン）	地上型レーザーキャナ （FARO）	ドローン搭載レーザーキャナ （Zenmuse L1）
水平誤差	2.05 %	1.48 %	2.19 %
高さ誤差	2.19 %	1.58 %	1.99 %
勾配誤差	9.85 %	11.72 %	10.18 %

実測値と点群データの計測は表 3.1 2 実証項目「②点群データによる計測」を適用する検査対象に示すポイントで行った。図 3.2-40 から図 3.2-51 は表 3.2-26 の計測箇所に対し実測及び各点群データで離隔や勾配を計測している様子を示す。図の配置は（左上）巻尺／傾斜計、（右上）携帯型レーザスキャナ、（左下）地上型レーザスキャナ、（右下）ドローン搭載レーザスキャナとする。

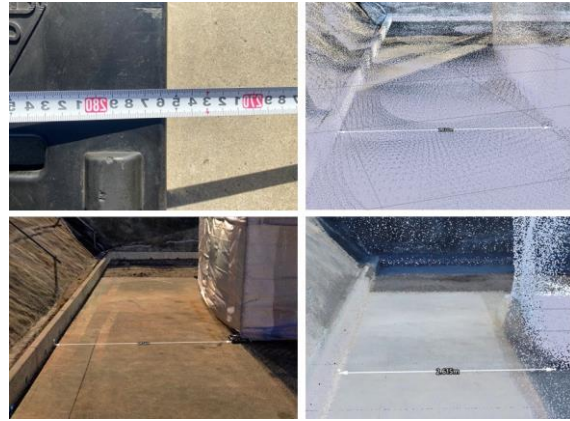


図 3.2-40 ①離隔（水平）



図 3.2-41 ②離隔（水平）



図 3.2-42 ③離隔（水平）

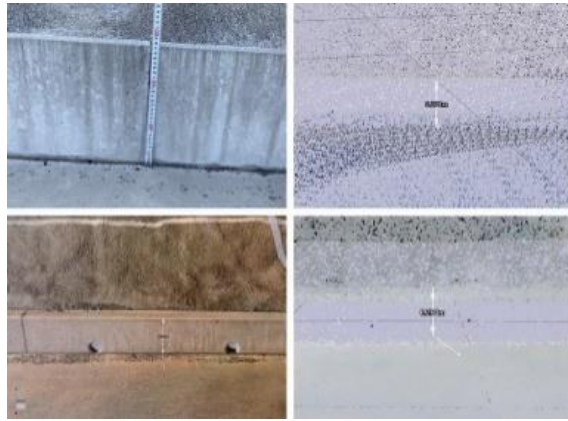


图 3.2-43 ④ 離隔 (高さ)



图 3.2-44 ⑤ 勾配



图 3.2-45 ⑥ 勾配



图 3.2-46 ⑦勾配



图 3.2-47 ⑧勾配



图 3.2-48 ⑨離隔 (水平)



図 3.2-49 ⑩ 離隔 (高さ)



図 3.2-50 ⑪ 勾配

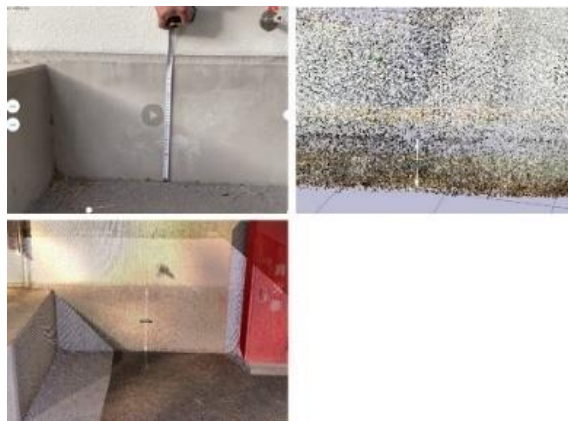


図 3.2-51 ⑫ 離隔 (高さ)

(2) 評価および分析

(ア) 精度

3 種類の計測機器を用いて別表第一から別表第四のうち計測を行う検査項目に対してそれぞれ対象箇所の計測を行った。計測した値は表 3.2-28 検査項目ごとの計測結果に示す。

表 3.2-28 検査項目ごとの計測結果

別表	検査項目	検査対象	検査基準	点群データ計測による結果			対象施設
				携帯型レーザスキャナ (デジスキャン)	地上型レーザスキャナ (FARO)	ドローン搭載レーザスキャナ (Zenmuse L1)	
別表第一 および 別表第三	1-3 3-3	延焼防止措置（測定、又は作動試験等）	森林と危険区域の境界線との間に幅 2m 以上の防火のための空地を設ける火薬庫には、その境界に沿い幅 2m 以上の防火のための空地を設けること		20.86m	20.86 m	A
	1-8	土堤・防爆壁の構造（及び測定）	土堤の勾配が 45 度以下であること	38.7 度	39.93 度	40.3 度	A
			土堤の頂点より内側の建物の高さが低いこと （上：内側の建物高さ、下：土堤の頂点）	（建物）2.863 m （土堤）3.901 m	（建物）2.935 m （土堤）3.796 m	（建物）2.923 m （土堤）3.812 m	
	1-13 の 2	発火・爆発防止措置（測定、及び作動試験等）	床面から 1.5m の高さに温湿度記録計を設置	0.672 m	0.702 m		A
			スプリンクラーを設け、かつ天井又は小屋裏の各部から水平距離が 1.7m 以下とすること	2.476 m	2.66 m		D
	1-35	乾燥台の落下対策・砂塵混入防止措置（又は測定）	乾燥台の高さを 60cm 程度とする	0.67 m	0.68 m	0.63 m	C
1-41	運搬通路の路面、勾配（又は測定）	路面は平たんであり、勾配は 50 分の 1 以下	3.46 度	3.04 度		A	
別表第二 および 別表第四	2-5	火薬庫の窓	窓を設ける場合には、地盤面から 1.7m 以上の高さであること	1.432 m	1.451 m		A
			10cm 以下の間隔で直径 1cm 以上の鉄棒をはめこんでいること	計測不可	0.104 m 0.012 m		E
	2-6	火薬庫の床高さ・通気孔（及び測定）	搬出入装置を有する火薬庫以外の火薬庫の床は、地盤面より 30cm 以上の高さとする	0.404 m	0.404m		A
			幅 20cm 以上の通気孔には、約 5cm 間隔で直径 1cm 以上の鉄棒をはめこむこと	計測不可	0.205m		F
2-14	防火設備、警戒設備の設置	森林と危険区域の境界線との間に幅 2m 以上の防火のための空地を設ける火薬庫には、その境界に沿い幅 2m 以上の防火のための空地を設けること		20.86m	20.86 m	A	

※対象施設は 2.2.1 の各実施場所(A)～(G)に対応している。

表 3.2-28 の検査項目に該当する計測箇所の詳細については、図 3.2-52 から図 3.2-58 に示す。



図 3.2-52 試験場



図 3.2-53 危険工室

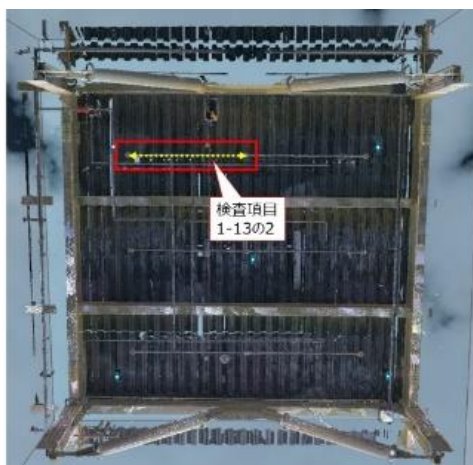


図 3.2-54 ミライト・ワン施設



図 3.2-55 能勢ドローンフィールド

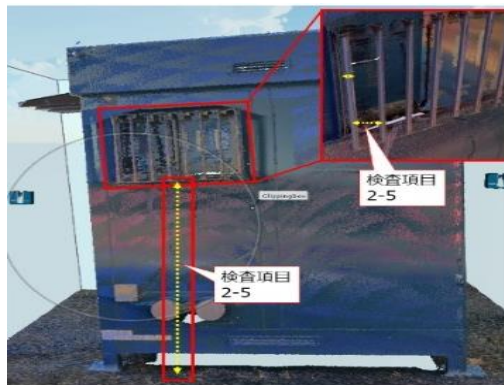


図 3.2-56 火工所



図 3.2-57 火薬類一時置場

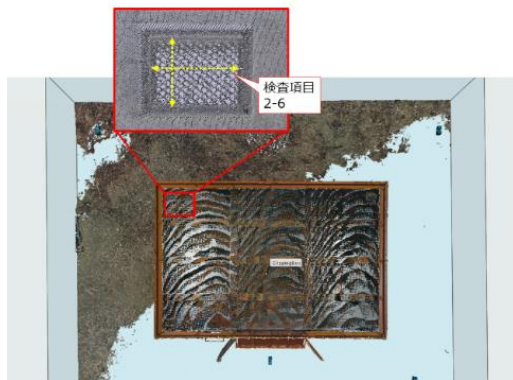


図 3.2-58 2級火薬庫

本実証項目においては実際の検査対象の設備ではなく類似する環境で計測を行っているため、求められる検査基準に対しては完全に一致するものではないが、それぞれの計測機器の誤差を考慮して従来の検査手法で巻尺等による計測を行っている検査項目の検査に置き換えられるかを検討した。

一例として以下の項目について評価する。

<別表第一および第三 1-8 土堤の構造>

検査基準となる土堤の勾配は 45 度以下であるが、実際に点群から計測を行った結果では最も勾配の値が高かったのはドローン搭載のレーザスキャナにより取得した点群から計測した 40.3 度である。

ドローンで勾配を計測した場合の計測誤差が 6.5%程度であったため誤差を考慮しても 43 度以下の結果となり、十分に検査基準をクリアしていると判断する。

上記の考え方をその他の検査項目に適用した場合、点群データによる計測により従来の検査手法に置き換えることが可能となる。

また、以下では、3 種類の計測機器による点群データの精度に関する個別の評価結果をそれぞれ示す。

● 携帯型レーザスキャナ（デジスキャン）

データ取得範囲が広範囲や高低差が大きい場合、また建物の四方をスキャンして箱型のデータを取得しようとする歪みが大きくなり、高さがズれることや、建物が箱型に繋がらず、壁面の一面が浮いた状態になる。具体的な事象を図 3.2-59 スキャン結果の歪みに示す。



図 3.2-59 スキャン結果の歪み

レンタル火薬庫のデータを取得する際に、建物の四方がうまく繋がらない状況が発生し、複数回データの取得を試みたがあまり改善される様子はなく、レンタル火薬庫のデータは歪みが大きく発生した。仮説として、火薬庫に塗装されている温度上昇を抑える遮熱塗料が LiDAR に影響を与えているのではと推測（iPad の LiDAR 仕様の詳細は不明だが、LiDAR に使用される波長は紫外線、可視光線、近赤外線の内いずれかであるため、遮熱塗料によって想定外の反射が起こり iPad に入力されない状況となったと推測）した。歪みが発生している様子を図 3.2-60 スキャン漏れ、ズレに示す。

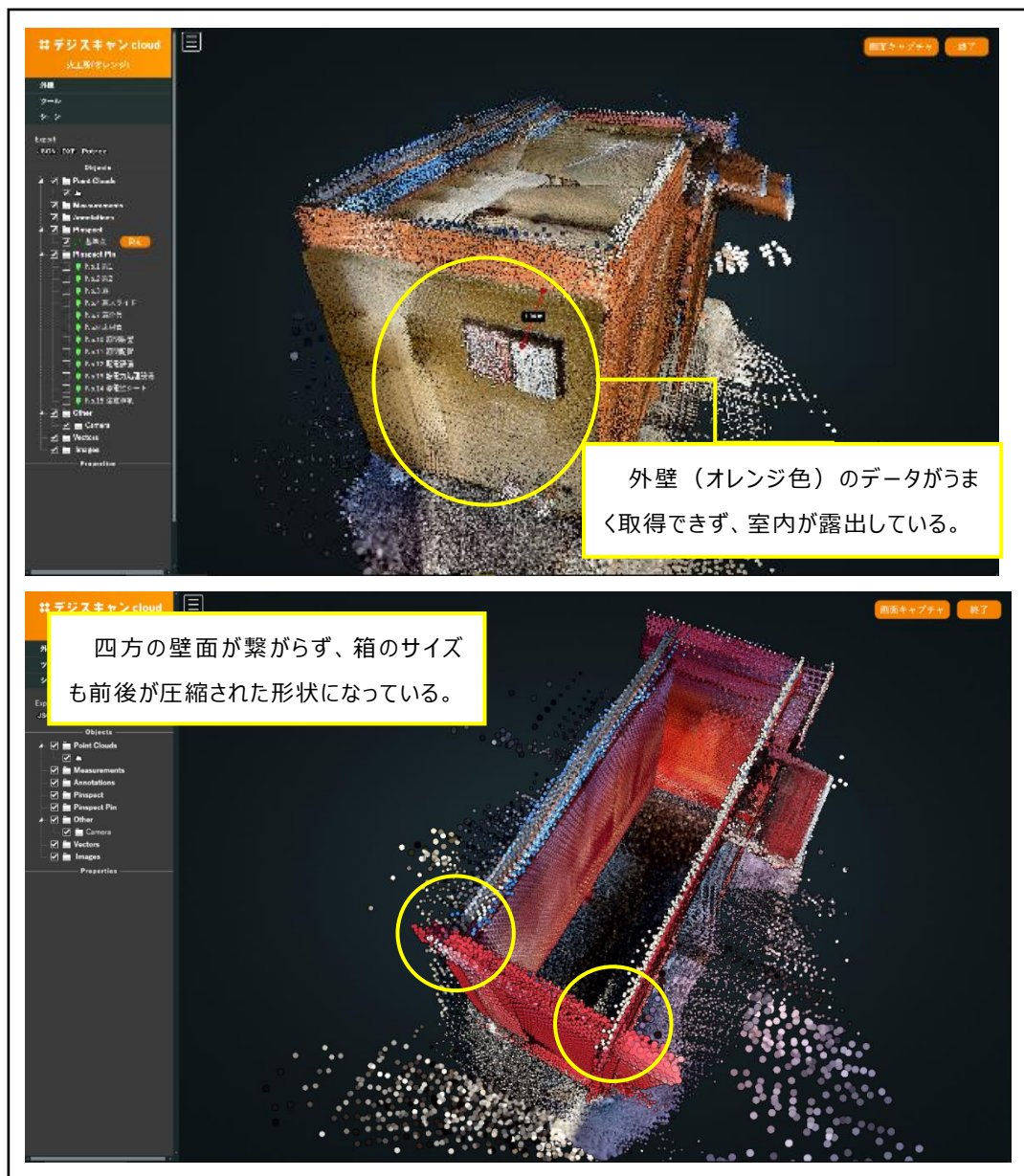


図 3.2-60 スキャン漏れ、ズレ

以上のとおり、歪みや詳細部分のデータがとり切れない部分はあるが、全体形状を把握することは可能であり、施設全体を多少の歪みは許容して全体形状の把握や検査項目の場所確認に使用する、または測定が必要なポイントをピンポイントで点群取得を行うことで、歪みを小さくして測定目的に使用することは可能である。点検箇所を確認する目的で Pinspect のデジタル付箋（ピン）を連携表示した画面を

図 3.2-61 デジスキヤンの 3 次元点群データに示す。

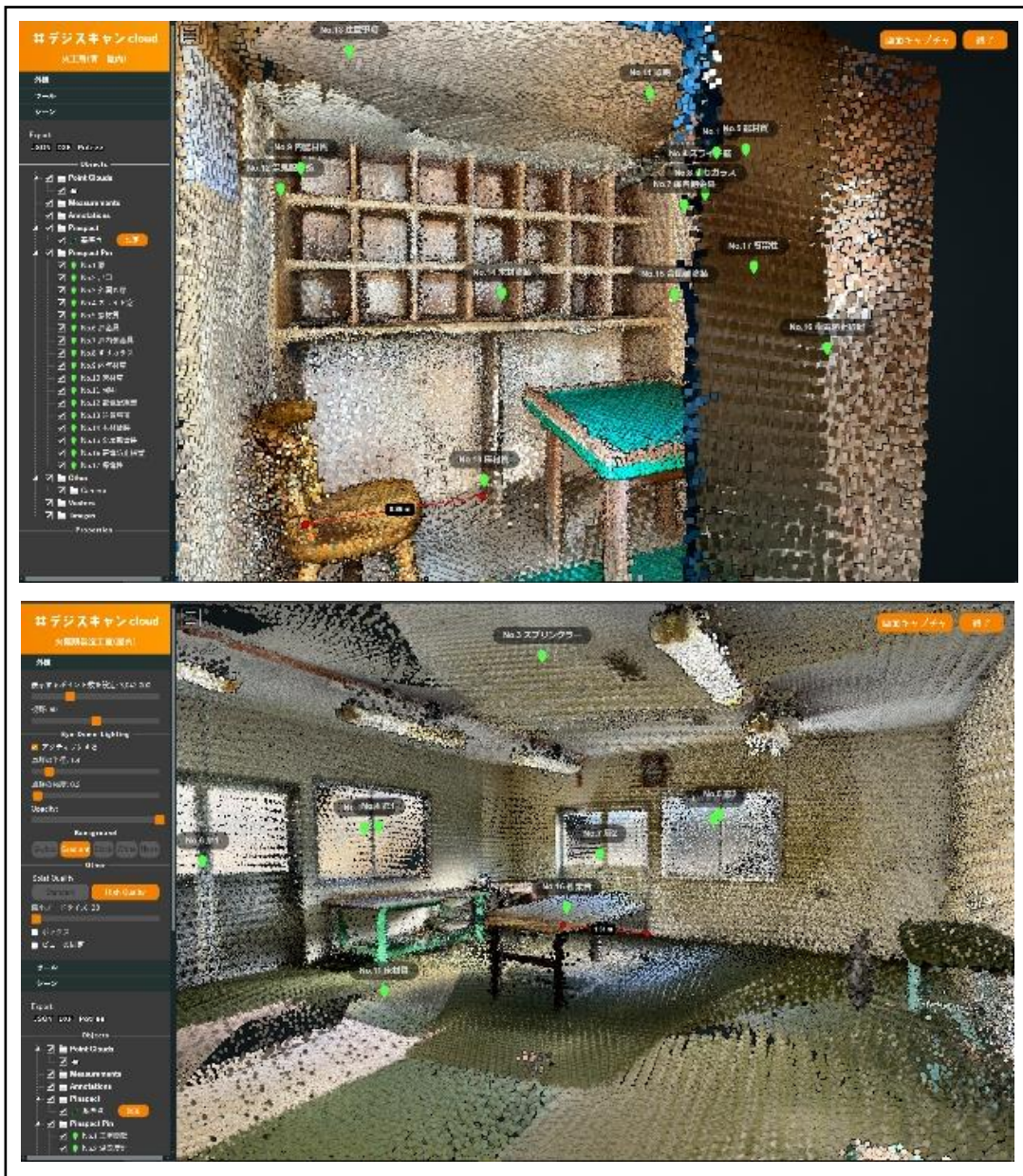


図 3.2-61 デジスキヤンの 3 次元点群データ

- 地上型レーザスキャナ（FARO）

土堤の頂部から高さを計測する場合は土堤下部からの計測だけでは頂部のデータが取得できているか明確ではない。土堤上部からの計測を行うことで、土堤の形状が明確になるため高さの計測が可能になる。

土堤頂部の取得状況の違いを図 3.2-62 に示す。

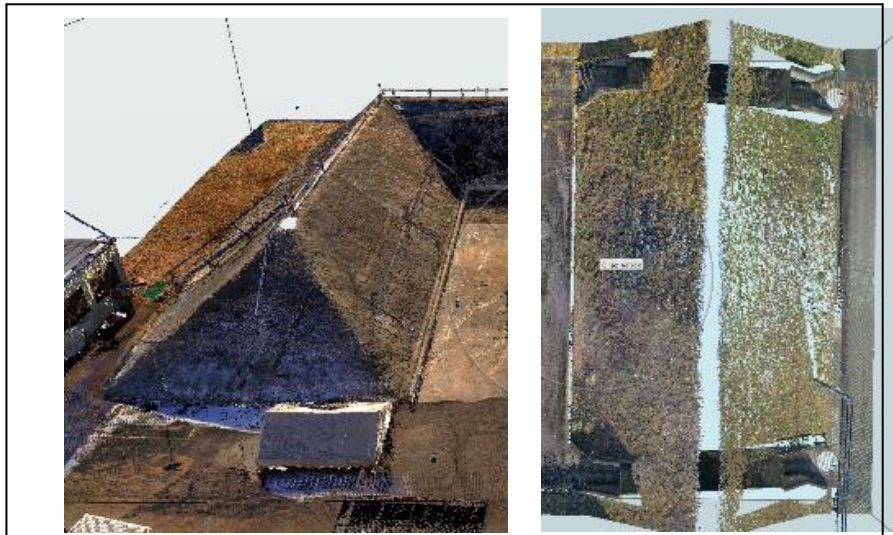


図 3.2-62 土堤頂部のデータ取得比較
 (左は上部からの計測を含むデータ、右は下部からの計測のみのデータ)

- ドローン搭載レーザスキャナ (Zenmuse L1)

本実証項目では施設直上を飛行し点群データの取得をおこなったが、実運用のように施設内に火薬類が存在する環境下では同様の飛行ができない。そのため、本実証項目と同様の精度でのデータを取得したい場合に適応できる検査は、施設全体が完成した際の完成検査のみとなることが想定される。本実証項目で飛行した方法で点群データを取得した場合、地上型レーザスキャナと比較しても誤差～2%となるため十分に検査可能な精度だといえる。

(イ) 安全性

本項目はソフトウェアを使用した作業のため安全性についての評価はないものとする。

(ウ) 信頼性

点群データを使用した距離の計測では、数ある点のうち 2 点を選択して計測を行う必要があるため、同一の点を選択することが難しく、計測を行う人や計測を行う度に結果の誤差が生じた。しかし、0.数ミリ程度の誤差であり点検の結果に影響を与える程度の誤差ではないため、問題なく検査への使用は可能であると考えられる。

(エ) 工数

従来手法では巻き尺等により 1 つの建物に対し多数の計測を実施する必要があり、人力で巻き尺を計測箇所にあてがい計測をするため、1 つの箇所の計測に 1～2 分の時間を要していたが、点群を使用した計測を使用することで計測が PC の操作のみで可能となり、30 秒～1 分程度で計測が可能となった。

従来の検査手法では検査員が現場に向かい作業を行うが、検査を受ける側（火薬類取扱施設等の管理事業者側）で点群の取得を行う前提で、この手法に置き換えた場合には計測作業にかかる工数の削減が期待できる。

(オ) コスト

本技術実証にて使用した TREND-POINT は 120 万円で購入可能である。

従来の検査手法では検査員が現場に向かい作業を行うが、検査を受ける側（火薬類取扱施設等の管理事業者側）で点群の取得を行う前提で、この手法に置き換えた場合には現場への移動回数を減らすこと等によって交通費の削減が期待できる。

3.2.3 AI による画像検出

(1) 結果

(ア) ドローンによる静止画の取得

a)取得方法

今回の AI 検出検証におけるドローン撮影では、以下の制約条件が存在した。

- 危険区域上空を飛行できず離れた地点からしか撮影できない。
- 飛行高度が低い場合、火薬工室等がある土堤内部の様子が撮影できない。
- 飛行可能な高度が 150m までである。

従って、今回の AI 検出検証におけるドローン撮影では、図 3.2-63 に示す、危険区域から離れた 3 つのポイントにて撮影された静止画に対して AI 検出検証を実施した。

- ポイント①：撮影日 12 月 23 日
- ポイント②：撮影日 12 月 24 日
- ポイント③：撮影日 12 月 29 日



図 3.2-63 ドローンの撮影ポイント

なお、ポイント①から③の内、AI 検出検証対象エリアから一番近いポイントはポイント③であったため、後述する各学習モデルを用いた AI 検出検証の結果の評価は、ポイント③にて撮影された画像を用いて実施した。

b)取得静止画データ

各ポイントでのグリッド撮影の結果は図 3.2-64～図 3.2-70 に示す結果となった。

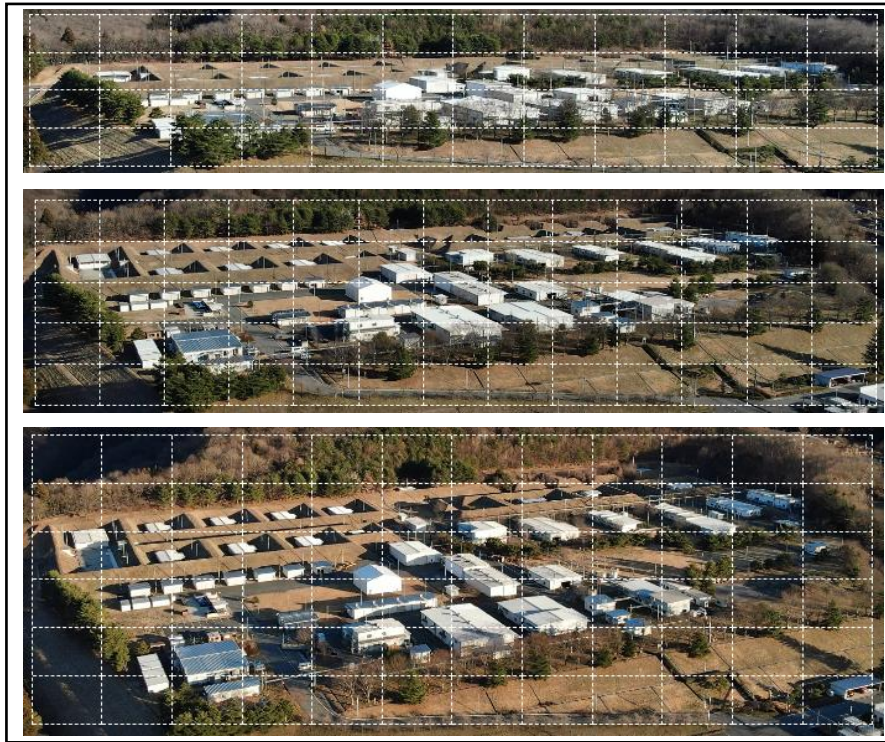


図 3.2-64 ポイント 1 のグリッド撮影結果
(上から高度 40m、80m、120m)

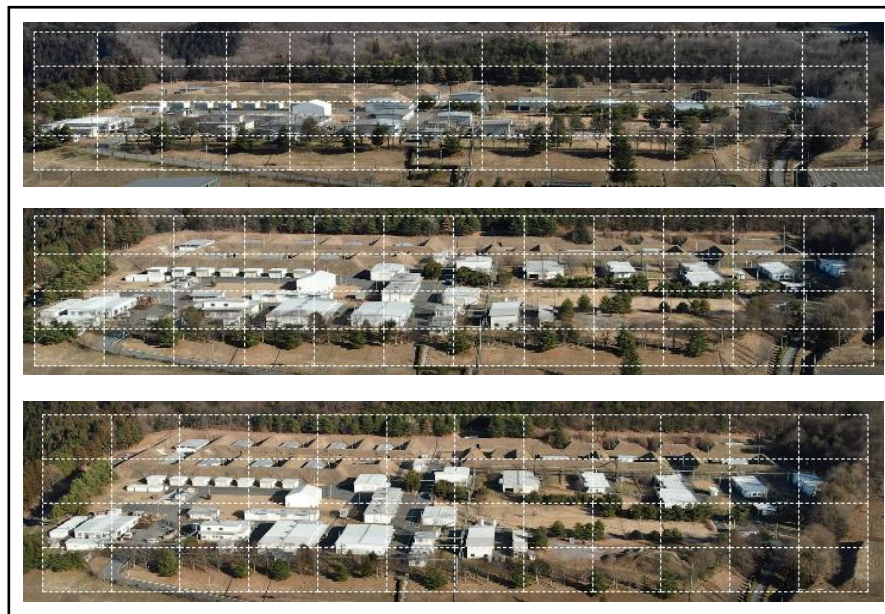


図 3.2-65 ポイント 2 のグリッド撮影結果
(上から高度 40m、80m、120m)



図 3.2-68 ポイント 3 高度 60m のグリッド撮影結果
(左から 1 回目、2 回目)



図 3.2-69 ポイント 3 高度 100m のグリッド撮影結果
(左上 1 回目、下 2 回目、右 3 回目)



図 3.2-70 ポイント高度 150m のグリッド撮影結果

グリッド撮影はドローンに搭載された広角カメラの映像を使用して範囲を指定するため、ポイント 1 およびポイント 2 では 1 回のグリッド撮影で危険区域全域を撮影可能であったが、ポイント 3 では広角カメラの映像内に危険区域全域が映らなかったため、グリッド撮影を分割して行う必要がありグリッド撮影の回数が 2 回、3 回と増加した。また、ポイント 3 では強風によりグリッド撮影が中断される事象があり、追加でグリッド撮影を行う必要があった（図 3.2-67 から図 3.2-70 にある“Can't load”の表記が中断により撮影できなかったデータである。）。

(イ) 一般データからの学習モデルを用いた AI 検出検証の結果

本検証では、AI 検出検証の結果を定量的に測るために、一般データからの学習モデルに対する AI 検出精度の評価を実施した。なお、本検証では、実証方法の詳細で記載のとおり、ドローンによるグリッド撮影（カメラズーム倍率：15 倍）という撮影手法を用いた。

一般データからの学習モデルに対して AI 検出精度の評価を実施した結果を表 3.2-29 に示す。ここで、本 AI 検出精度の評価は、12 月 29 日のポイント③におけるグリッド撮影画像から無作為に 460 枚を抽出し、抽出した各画像を 48 分割にした画像（計 22,080 枚）を検証画像として用いて実施した。なお、今回の撮影場所には、消火器（ボックスなし）は設置されていないため、検証画像中の消火器（ボックスなし）の物体数は 0 となった。

また、本 AI 検出精度の評価には、以下に示す各 AI 評価指標を用いて実施した。

- 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

表 3.2-29 一般データからの学習モデルに対する AI 検出精度の評価結果

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

上記表 3.2-29 が示す通り、一般データからの学習モデルの検出精度の値（mAP50 の値）は平均 56.2%となった。なお、一般データからの学習モデルのパラメータ数は 11.2M であった（下記グラフの青色のデータ）ため、既存の学習モデル（Yolov8：下記グラフの茶色のデータ、Yolov5：下記グラフ図 3.2-71 の灰色のデータ、Yolov3：下記グラフの黄土色のデータ）の mAP50 の値と比較すると、比較結果は以下図 3.2-71 に示すグラフとなった。ここで、学習モデルのパラメータ数とは、AI 学習中に、学習モデルの最適化に使用される変数の数のことであり、学習モデルの複雑さを示す値でもある。学習モデルのパラメータ数が大きいほど、より複雑な処理を実施することが可能ではあるが、学習時間や AI 検出にかかる時間も多くなる。

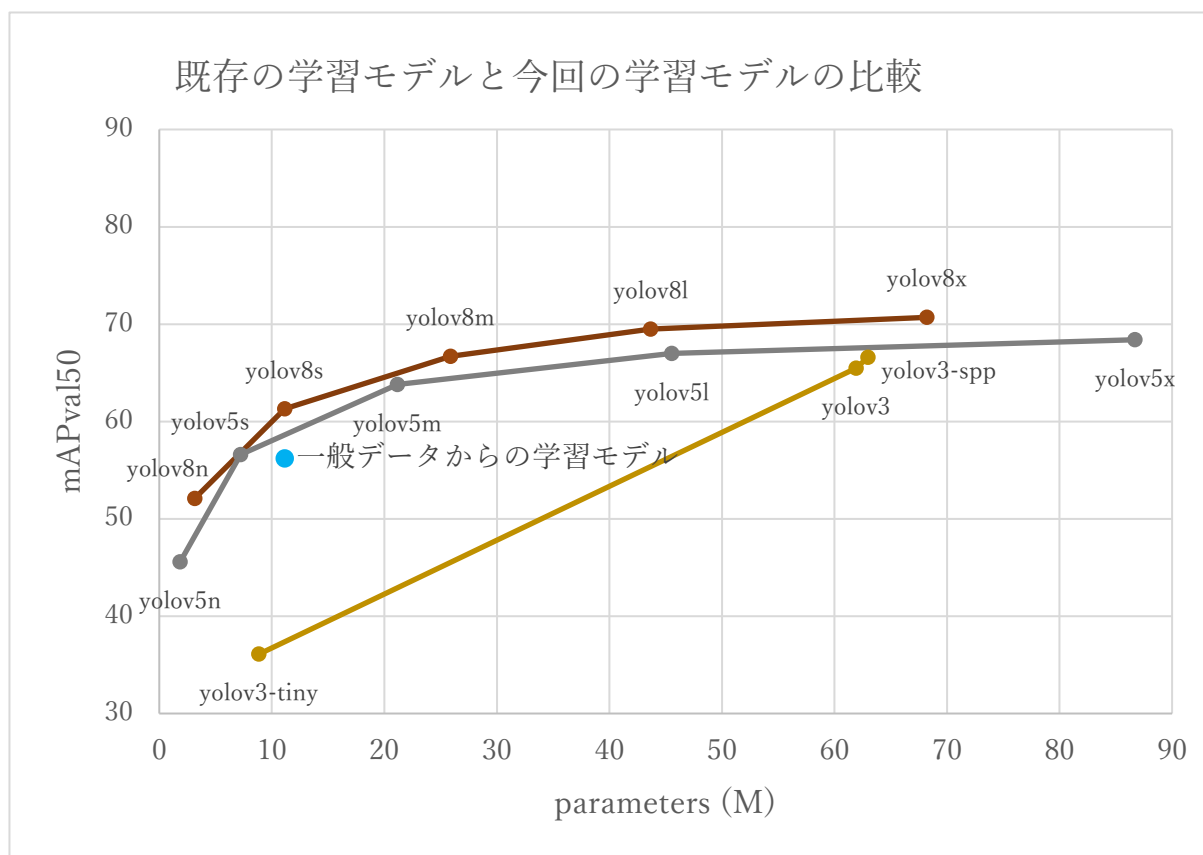


図 3.2-71 既存の学習モデル (Yolov8) と今回の学習モデルの比較

一般データからの学習モデルとパラメータ数が近いレンジでの、既存の学習モデルの検出精度の値は、36.1%から 61.3%であった。一方、一般データからの学習モデルの検出精度の値は 56.2%であった。従って、一般データからの学習モデルの検出精度の値は、既存の学習モデルの検出精度の値と比べても乖離のない値であり、一般データからの学習モデルの AI 検出精度は、既存の学習モデルと同等の精度であると考えられる。

また、一般データからの学習モデルを用いて、検証画像に対して物体検出を実施した際の結果は、以下の

表 3.2-30 および

表 3.2-31 に示す通りとなった。

なお、各列は、検証画像に存在する、正解があるクラスとして設定された各物体が、それぞれどのクラスとして検出されたかの分布を示している。また、各行は、あるクラスと検出された各物体に対して、正解であるクラスの分布を示している。また、各セルの色は、各セルが属する列の中のヒートマップを表している。具体的には、あるセルの数値が、各列の中において、相対的に大きい値である場合には、セルの色が濃い青色となり、相対的に小さい値である場合には、セルの色が薄い青色となる。

従って、検出されたクラスと正解であるクラスが一緒の場合、対角部分の要素がカウントされるため、対角部分の要素の数値が大きいほど、検出精度が高い結果となる。

表 3.2-30 混同行列(物体数)

Predicted \ True	警告札	避雷針 (一般形状)	避雷針 (電柱型)	消火器	消火 設備	貯水槽	ドラム缶	ボイラー	背景
警告札	109			-	2	1			14
避雷針 (一般形状)		101	2	-					56
避雷針 (電柱型)		88	129	-					75
消火器 (ボックスなし)				-	2		12		13
消火設備 (消火器ボックス・ 消火栓等)				-	66	1			6
貯水槽		1		-		12			2
ドラム缶			1	-	1		79		10
ボイラー			5	-				8	4
背景	3	15	4	-	2		5	1	

表 3.2-31 混同行列(正規化値)

Predicted \ True	警告札	避雷針 (一般形状)	避雷針 (電柱型)	消火器	消火 設備	貯水槽	ドラム缶	ボイラー	背景
警告札	0.97			-	0.03	0.07			0.08
避雷針 (一般形状)		0.49	0.01	-					0.31
避雷針 (電柱型)		0.43	0.91	-					0.42
消火器 (ボックスなし)				-	0.03		0.12		0.07
消火設備 (消火器ボックス・ 消火栓等)				-	0.9	0.07			0.03
貯水槽				-		0.86			0.01
ドラム缶			0.01	-	0.01		0.82		0.06
ボイラー			0.04	-				0.89	0.02
背景	0.03	0.07	0.03	-	0.03		0.05	0.11	

一般データからの学習モデルを用いて、検証画像に対して物体検出を実施した際の結果に関して、混同行列(正規化値)の対角部分の要素の数値は、49%から 97%と対象クラスによってばらつきはあったが、各クラスとも、各クラスに対する総検出数の中で、正解として検出された検出数の割合が最も大きい値

となっていた。従って、各クラスとも、誤検出された物体数よりも、正しく検出された物体数の方が多い AI 検出結果であった。

【各ポイントにてグリッド撮影された画像に対する AI 検出検証の結果】

各ポイントにてグリッド撮影された画像に対する AI 検出画像を図 3.2-72 に示す。なお、各色の矩形は、それぞれ以下の対象物（警戒札、避雷針、消火器、消火設備、貯水槽、ドラム缶及びボイラー）に対する AI 検出結果である。

- 一：警戒札
- 一：避雷針（一般形状）
- 一：避雷針（電柱型）
- 一：消火器（ボックスなし）
- 一：消火設備（消火器ボックス・消火栓等）
- 一：貯水槽
- 一：ドラム缶
- 一：ボイラー



図 3.2-72 ドローンにてグリッド撮影された画像に対する AI 検出画像
（上からポイント①、②、③の順）

(ウ) 現場データからの学習モデルを用いた AI 検出検証の結果

本検証では、AI 検出検証の結果を定量的に測るために、現場データからの学習モデルに対する AI 検出精度の評価を実施した。なお、本検証においても、(イ)と同様にドローンによるグリッド撮影（カメラズーム倍率：15 倍）を用いた。

現場データからの学習モデルに対して AI 検出精度の評価を実施した結果を以下表 3.2-32 に示す。ここで、本 AI 検出精度の評価は、12 月 29 日のポイント③におけるグリッド撮影画像 1541 枚を無作為に学習に使用する画像と、検証に使用する画像とに分類し、モデルの学習に使用していない画像（460 枚）を検証画像として用いて実施した。なお、今回の撮影場所には、消火器（ボックスなし）は設置されていなかったため、学習画像中、および検証画像中の消火器（ボックスなし）の物体数は 0 となった。さらに、学習使用するデータにボイラーが映った画像が含まれていなかったため、学習画像中、および検証画像中のボイラーの物体数も 0 となった。

表 3.2-32 現場データからの学習モデルに対する AI 検出精度の評価結果

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	-	-	-	-

上記表 3.2-32 が示す通り、現場データからの学習モデルの検出精度の値（mAP50 の値）は平均 89.5%となった。なお、現場データからの学習モデルのパラメータ数は 25.9M であった（下記グラフの赤色のデータ）ため、既存の学習モデル（Yolov8：下記グラフの茶色のデータ、Yolov5：下記グラフの灰色のデータ、Yolov3：下記グラフの黄土色のデータ）の mAP50 の値と比較すると、比較結果は以下図 3.2-73 に示すグラフとなった。

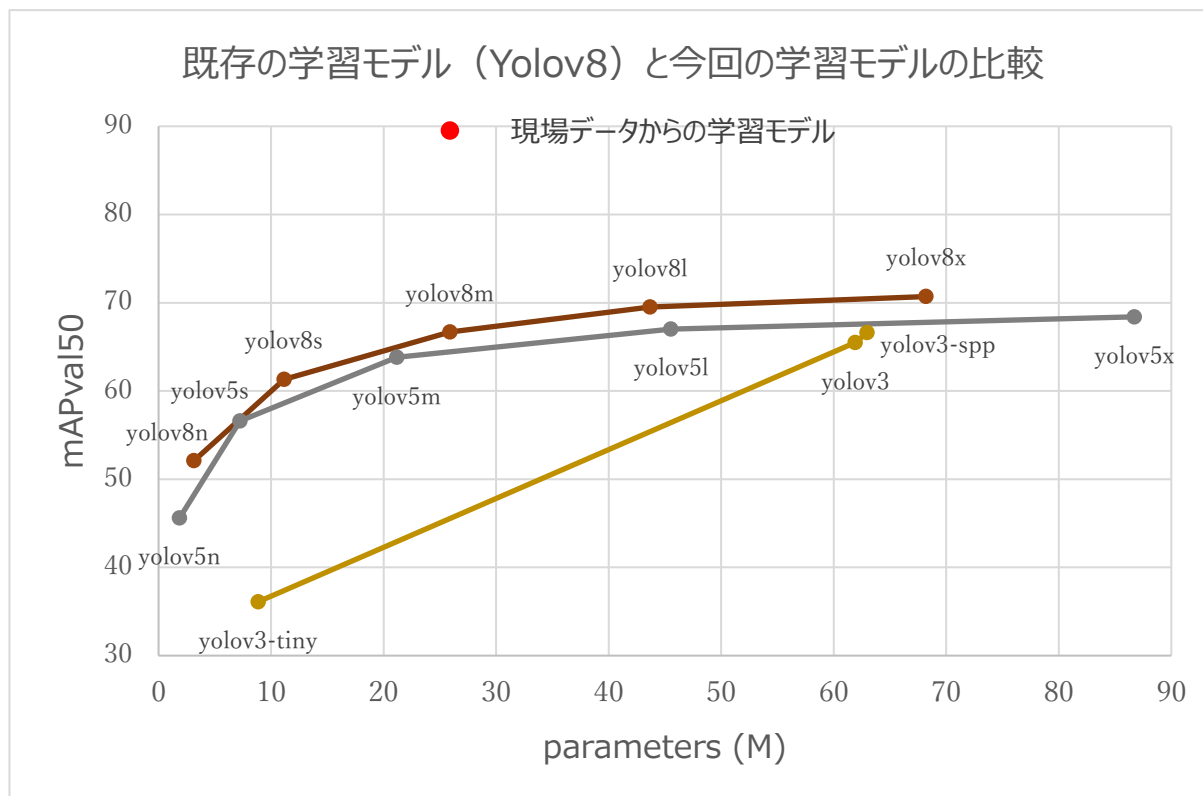


図 3.2-73 既存の学習モデル (Yolov8) と今回の学習モデルの比較

現場データからの学習モデルとパラメータ数が近いレンジでの、既存の学習モデルの検出精度の値は、63.8%から 66.7%であった。一方、現場データからの学習モデルの検出精度の値は、89.5%であった。従って、現場データからの学習モデルの検出精度の値は、既存の学習モデルの検出精度の値と比べると著しく高い値であり、現場データからの学習モデルの AI 検出精度は、既存の学習モデルよりも高い検出精度であると考えられる。

また、現場データからの学習モデルを用いて、検証画像に対して物体検出を実施した際の結果は、以下表 3.2-33、表 3.2-34 に示す通りとなった。

なお、各列は、検証画像に存在する、正解があるクラスとして設定された各物体が、それぞれのクラスとして検出されたかの分布を示している。また、各行は、あるクラスと検出された各物体に対して、正解であるクラスの分布を示している。

従って、検出されたクラスと正解であるクラスが一緒の場合、対角部分の要素がカウントされるため、対角部分の要素の数値が大きいほど、検出精度が高い結果となる。

表 3.2-33 混同行列(物体数)(現場データからの学習モデル)

Predicted \ True	True								
	警告札	避雷針 (一般形状)	避雷針 (電柱型)	消火器	消火 設備	貯水槽	ドラム缶	ボイラー	背景
警告札	8			-				-	2
避雷針 (一般形状)		165		-				-	31
避雷針 (電柱型)		1	97	-				-	21
消火器 (ボックスなし)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
消火設備 (消火器ボックス・消火栓 等)	2			-	87			-	5
貯水槽				-		7		-	1
ドラム缶				-	1		158	-	53
ボイラー				-				-	
背景	3	13	3	-	4			-	

表 3.2-34 混同行列(正規化値)(現場データからの学習モデル)

Predicted \ True	True								
	警告札	避雷針 (一般形状)	避雷針 (電柱型)	消火器	消火 設備	貯水槽	ドラム缶	ボイラー	背景
警告札	0.62			-				-	0.02
避雷針 (一般形状)		0.92		-				-	0.27
避雷針 (電柱型)		0.01	0.97	-				-	0.19
消火器 (ボックスなし)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
消火設備 (消火器ボックス・消火栓 等)	0.15			-	0.95			-	0.04
貯水槽				-		1		-	0.01
ドラム缶				-	0.01		0.95	-	0.47
ボイラー	-	-	-	-	-	-	-	-	-
背景	0.23	0.07	0.03	-	0.04		0.05	-	

現場データからの学習モデルを用いて、検証画像に対して物体検出を実施した際の結果に関して、混同行列(正規化値)の対角部分の要素の数値は、62%から 100%と対象クラスによってばらつきはあったが、各クラスとも最も大きい値となっていた。従って、各クラスとも、誤検出された物体数よりも、正しく検出された物体数の方が多い AI 検出結果であった。

【各ポイントにてグリッド撮影された画像に対する AI 検出検証の結果】

各ポイントにてグリッド撮影された画像に対する AI 検出画像を以下図 3.2-74 に示す。なお、各色の矩形は、それぞれ以下の対象物（警告札、避雷針、消火設備、貯水槽、ドラム缶およびボイラー）に対する AI 検出結果である。

- 一：警告札
- 一：避雷針（一般形状）
- 一：避雷針（電柱型）
- 一：消火設備（消火器ボックス・消火栓等）
- 一：貯水槽
- 一：ドラム缶
- 一：ボイラー



図 3.2-74 ドローンにてグリッド撮影された画像に対する AI 検出画像
（上からポイント①、②、③の順）

（工）検出対象物に対する撮影距離別／撮影高度別の AI 検出検証の結果

検出対象物に対して、どの程度の撮影距離まで AI 検出可能か、また、どの程度の撮影高度まで AI 検出可能かを検証するために、検出対象物に対する撮影距離別の AI 検出検証と、検出対象物に対する撮影高度別の AI 検出検証を実施した。

本検証は能勢ドローンフィールドにて実施した。能勢ドローンフィールドは北側が飛行禁止区域、東部および西部は山間部となっているため、ドローンのフライトが南東のみに限られ、撮影角度が南東からの一方向のみとなった。ドローンのフライトについての概要図を図 3.2-75 に示す。

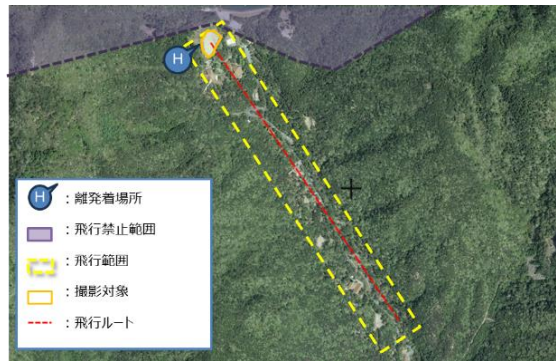


図 3.2-75 ドローン飛行概要図

なお、本章の AI 検出検証では、検出対象物として一般形状の警告札と消火器を想定したため、一般データからの学習モデルを用いて検証を実施した。

● 各検出対象物の設置位置

検出対象物に対する撮影距離別の AI 検出検証と、検出対象物に対する撮影高度別の AI 検出検証の実施時に設置した、検出対象物（警告札 10 枚、消火器 3 台）の設置場所を以下図 3.2-76 に示す。



図 3.2-76 検出対象物（警告札 10 枚、消火器 3 台）の設置場所

● 検出対象物に対する撮影距離別の AI 検出検証（グリッド撮影時）の結果

検出対象物に対する撮影距離別の AI 検出検証（グリッド撮影時）の結果を以下表 3.2-35 に示す。なお、本検証では、ドローンによるグリッド撮影（カメラズーム倍率：15 倍）を用いた。

表 3.2-35 検出対象物に対する撮影距離別の AI 検出検証（グリッド撮影時）の結果

対象物	警告札の設置向き	離隔 100m 高度 60m	離隔 200m 高度 60m	離隔 400m 高度 60m	離隔 400m 高度 100m	離隔 600m 高度 60m	離隔 600m 高度 75m	離隔 800m 高度 60m	検出物体の 最小サイズ (px)
警告札 1	ほぼ正面	× ※1	○	○	○	×	×	×	1035(20x45)
警告札 2	斜め	○	×	×	×	×	×	×	2688(28x96)
警告札 3	ほぼ正面	× ※1	○	×	×	×	×	×	950(19x50)
警告札 4	斜め	○	×	×	×	×	×	×	5694(39x146)
警告札 5	斜め	×	×	×	×	×	×	×	—
警告札 6	ほぼ正面	× ※1	× ※2	○	○	× ※2	× ※2	× ※2	1219(23x53)
警告札 7	ほぼ正面	○	○	○	○	×	○	×	560(16x35)
警告札 8	真横	×	× ※2	× ※2	× ※2	× ※2	× ※2	× ※2	—
警告札 9	ほぼ正面	○	○	×	×	×	×	×	992(16x62)
警告札 10	ほぼ正面	× ※1	○	×	×	×	×	×	1830(30x61)
消火器 1	—	○	○	×	×	×	×	×	2590(37x70)
消火器 2	—	○	○	×	×	× ※2	× ※2	× ※2	3813(41x93)
消火器 3	—	× ※1	○	× ※2	× ※2	× ※2	× ※2	× ※2	2660(35x76)

※1：撮影時に対象物が設置されておらず検出不可となったもの

※2：遮蔽物が検出不可となったもの

※3：各離隔距離での高度は 60m を基本とし、それに追加する形で各ポイントでの最大飛行高度（対地高度 150m となる高度）で撮影を実施

■ 各検出対象物に対する AI 検出結果

各検出対象物に対する撮影距離別の AI 検出検証（グリッド撮影時）における AI 検出画像を以下図 3.2-77 に示す。なお、各画像は、左から順番に、離隔距離 100m 高度 60m、離隔距離 200m 高度 60m、離隔距離 400m 高度 60m、離隔距離 400m 高度 100m、離隔距離 600m 高度 60m、離隔距離 600m 高度 75m、離隔距離 800m 高度 60m での撮影画像に対する AI 検出画像である。

【警告札 1】



【警告札 2】



【警告札 3】



【警告札 4】



【警告札 5】



【警告札 6】



【警告札 7】



【警告札 8】



【警告札 9】



【警告札 10】



【消火器 1】



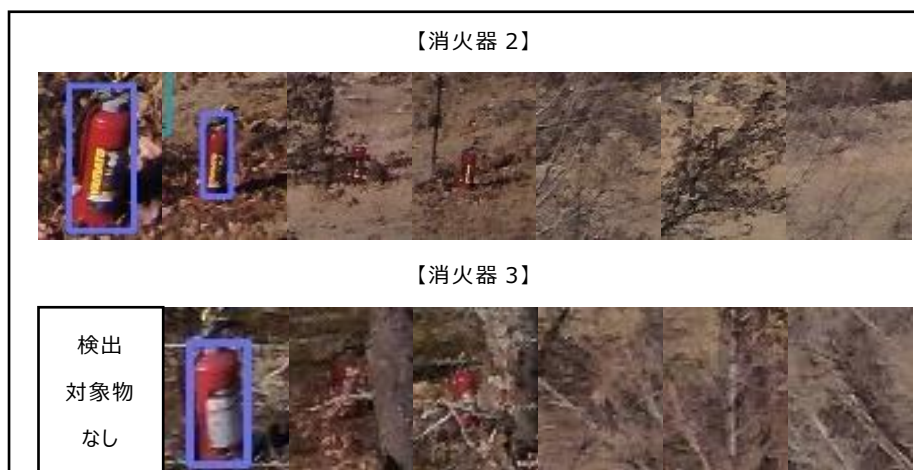


図 3.2-77 撮影距離別の AI 検出検証（グリッド撮影時）における AI 検出画像

■ AI 検出結果の俯瞰図

AI 検出によって物体検出が可能であった地点における AI 検出結果の俯瞰図を図 3.2-78～図 3.2-82 に示す。なお、各色の矩形は、それぞれ以下の対象物（警戒札および消火器）に対する AI 検出結果である。

- 一：警告札
- 一：消火器（ボックスなし）



図 3.2-78 AI 検出結果の俯瞰図（離隔距離 100m、高度 60m）



図 3.2-79 AI 検出結果の俯瞰図（離隔距離 200m、高度 60m）



図 3.2-80 AI 検出結果の俯瞰図（離隔距離 400m、高度 60m）



図 3.2-81 AI 検出結果の俯瞰図（離隔距離 400m、高度 100m）



図 3.2-82 AI 検出結果の俯瞰図（離隔距離 600m、高度 75m）

■ 撮影距離別の AI 検出検証（ズーム撮影時）の結果

検出対象物に対する撮影距離別の AI 検出検証（ズーム撮影時）の結果を表 3.2-36 に示す。なお、本検証では、ドローンによるズーム撮影（カメラズーム倍率：23 倍）を用いた。

表 3.2-36 検出対象物に対する撮影距離別の AI 検出検証（ズーム撮影時）の結果

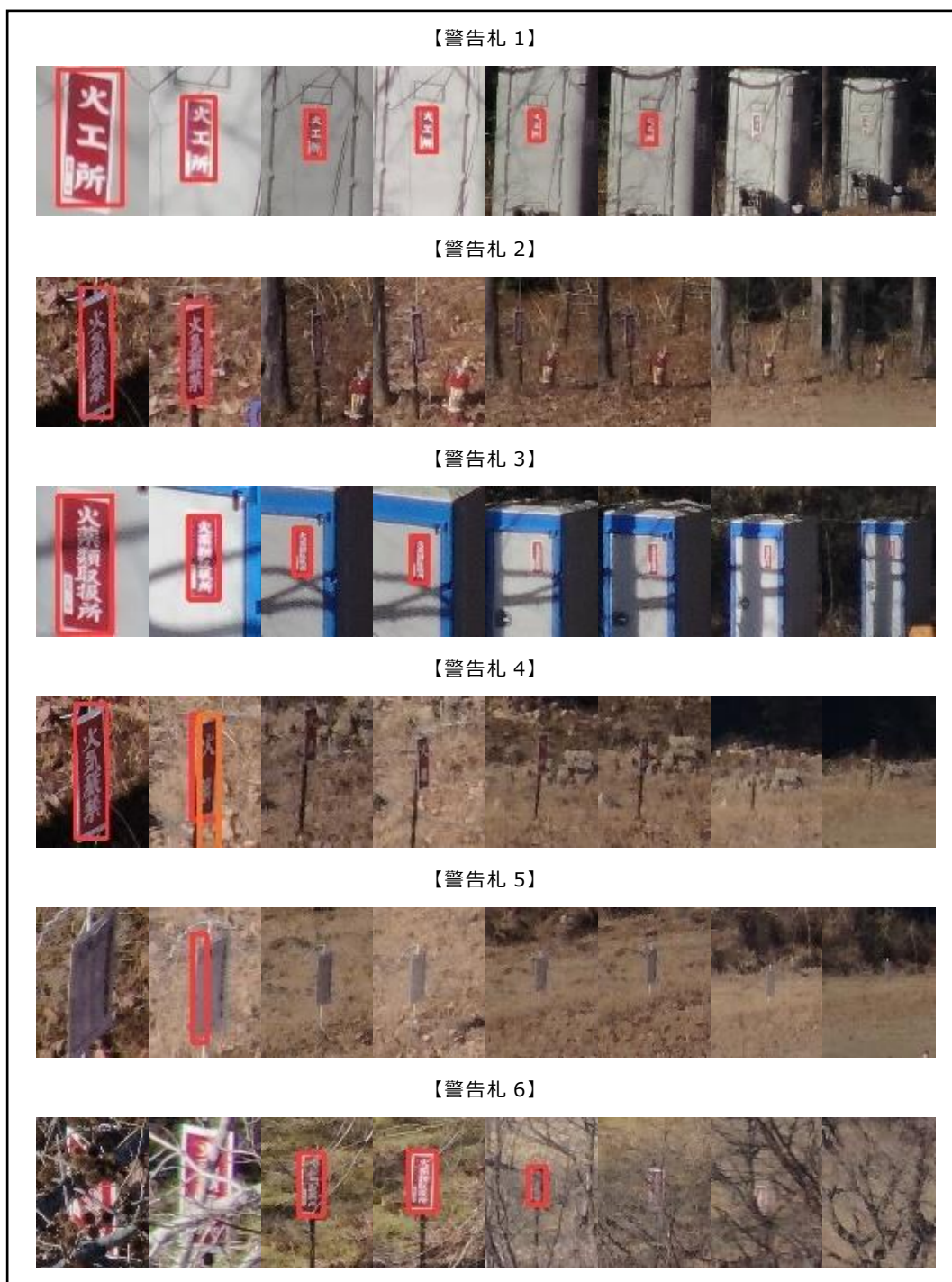
対象物	警告札の設置向き	離隔 100m 高度 60m	離隔 200m 高度 60m	離隔 400m 高度 60m	離隔 400m 高度 100m	離隔 600m 高度 60m	離隔 600m 高度 75m	離隔 800m 高度 60m	離隔 1000m 高度 50m	検出物体の最小サイズ (px)
警告札 1	ほぼ正面	○	○	○	○	○	○	×	×	860(20x43)
警告札 2	斜め	○	○	×	×	×	×	×	×	3683(29x127)
警告札 3	ほぼ正面	○	○	○	○	×	×	×	×	1495(23x65)
警告札 4	斜め	○	○	×	×	×	×	×	×	4191(33x127)
警告札 5	斜め	×	○	×	×	×	×	×	×	2556(18x142)
警告札 6	ほぼ正面	×※2	×※2	○	○	○	×※2	×※2	×※2	1426(23x62)
警告札 7	ほぼ正面	○	○	○	○	○	○	○	×	828(18x46)
警告札 8	真横	×	×※2	×※2	×※2	×※2	×※2	×※2	×※2	—
警告札 9	ほぼ正面	○	○	○	○	×	○	×	×	714(14x51)
警告札 10	ほぼ正面	×※1	○	○	○	○	×	×	×	1265(23x55)
消火器 1	—	○	○	×	×	×	×	×	×	7812(62x126)
消火器 2	—	○	○	×	×	×※2	×※2	×※2	×※2	8928(62x144)
消火器 3	—	×※2	○	×※2	×※2	×※2	×※2	×※2	×※2	8050(80x161)

※1：撮影時に対象物が設置されておらず検出不可となったもの

※2：遮蔽物があり対象物の目視が厳しく検出不可となったもの

■ 各検出対象物に対する AI 検出結果

各検出対象物に対する撮影距離別の AI 検出検証（ズーム撮影時）における AI 検出画像を以下図 3.2-83 に示す。なお、各画像は、左から順番に、離隔距離 100m 高度 60m、離隔距離 200m 高度 60m、離隔距離 400m 高度 60m、離隔距離 400m 高度 100m、離隔距離 600m 高度 60m、離隔距離 600m 高度 75m、離隔距離 800m 高度 60m、離隔距離 1000m 高度 50m での撮影画像に対する AI 検出画像である。



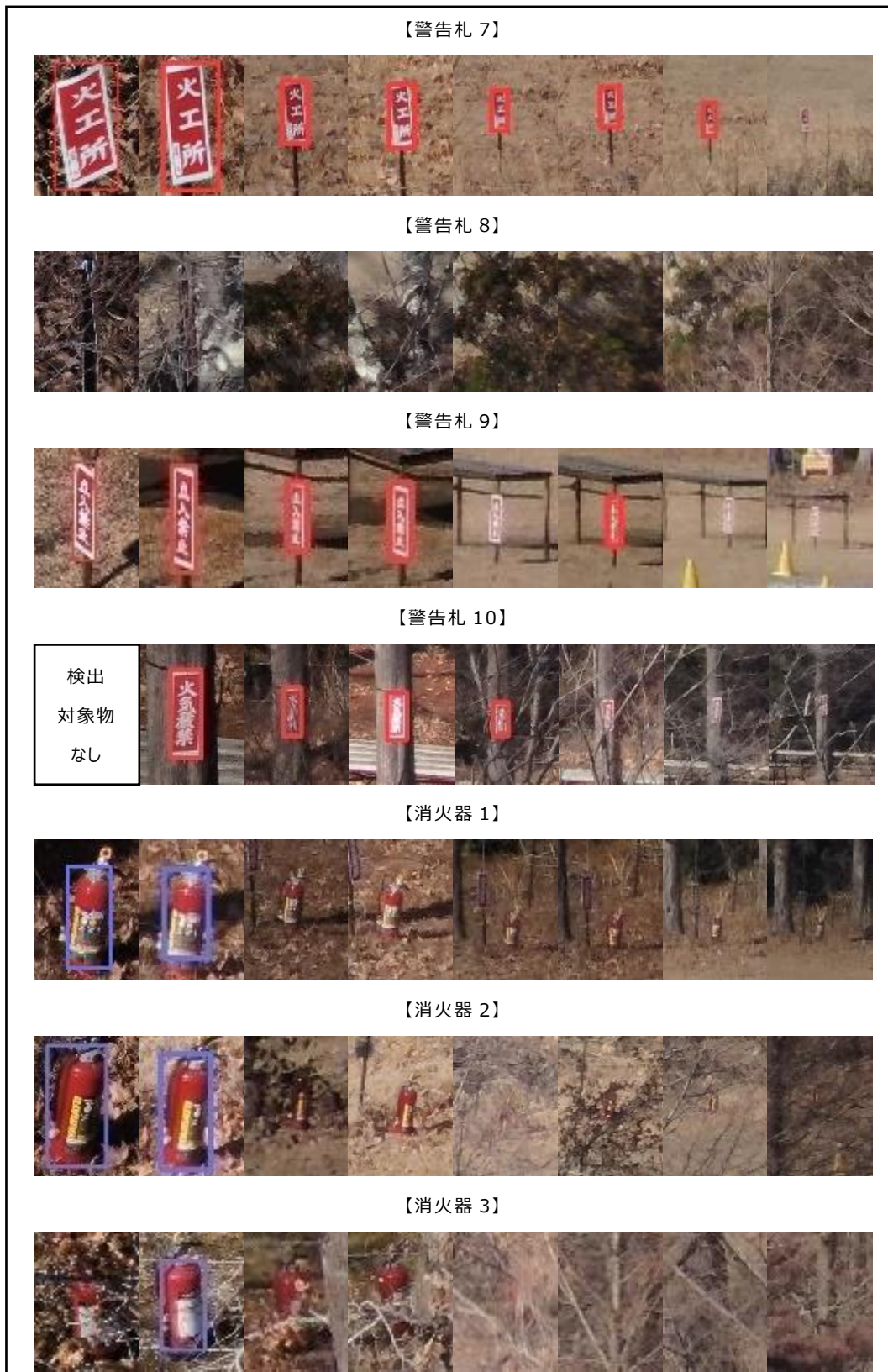


図 3.2-83 撮影距離別の AI 検出検証（ズーム撮影時）における AI 検出画像

■ 検出対象物に対する撮影高度距離別の AI 検出検証の結果

検出対象物に対する撮影高度別の AI 検出検証の結果を表 3.2-37 に示す。なお、本検証では、ドローンによるグリッド撮影（カメラズーム倍率：15 倍）は用いず、ドローンによるズーム撮影（カメラズーム倍率：23 倍）のみを用いた。

表 3.2-37 検出対象物に対する撮影高度別の AI 検出検証の結果

対象物	警告札の設置向き	離隔 100m 高度 80m	離隔 100m 高度 90m	離隔 100m 高度 100m	離隔 100m 高度 110m	離隔 100m 高度 120m	離隔 100m 高度 130m	離隔 100m 高度 140m	離隔 100m 高度 150m	検出物体の最小サイズ (px)
警告札	ほぼ正面	○	○	○	○	○	○	○	○	5610 (55x102)
消火器	-	○	○	○	○	○	○	×	×	8640 (64x135)

■ 各検出対象物に対する AI 検出結果

各検出対象物に対する撮影高度別の AI 検出検証における AI 検出画像を図 3.2-84 に示す。なお、各画像は、左から順番に、離隔距離 100m 高度 80m、90m、100m、110m、120m、130m、140m、150m での撮影画像に対する AI 検出画像である。

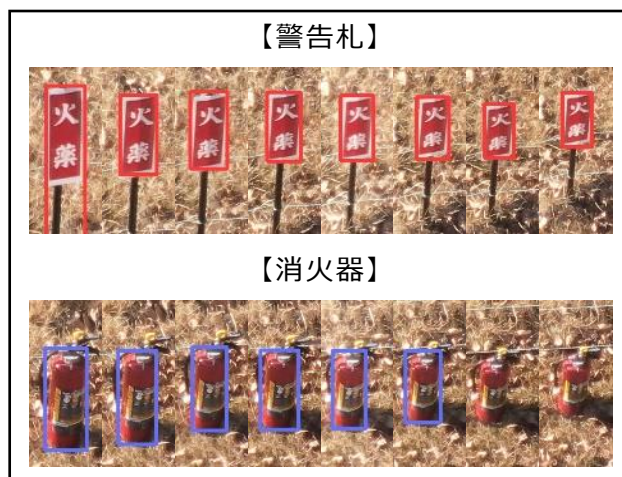


図 3.2-84 撮影高度別の AI 検出検証における AI 検出画像

(2) 評価および分析

(ア) 精度

一般データからの学習モデルの検出精度の値（mAP50 の値）は、学習モデルのパラメータ数が 11.2M において、平均 56.2%であった。なお、一般データからの学習モデルとパラメータ数が近いレンジでの、既存の学習モデルの検出精度の値は、36.1%から 61.3%であった。従って、一般データからの学習モデルの検出精度は、既存の学習モデルと同等の検出精度であると考える。

また、一般データからの学習モデルを用いた AI 検出を実施した結果、検出された物体のクラスが正解であった割合に関して、避雷針（一般形状）は49%であったが、他のクラスは82%から97%であった。検出対象物のクラスによってばらつきが存在していたが、各クラスとも、誤検出された物体数よりも、正しく検出された物体数の方が多く結果であった。従って、一般データからの学習モデルは、誤検出数も多くない AI 検出が可能な学習モデルであると考える。なお、避雷針（一般形状）の検出結果に関して、他のクラスよりも誤検出が多い結果となっていたが、避雷針（一般形状）の誤検出先を見てみると、約 85%が同様の形状である避雷針（電柱型）に検出されていた。避雷針（一般形状）と避雷針（電柱型）はどちらも避雷針であり、避雷針（一般形状）と避雷針（電柱型）を一つのクラスに統合して AI 検出を実施した場合には、避雷針のクラスの誤検出数も、他のクラスと同程度まで少なくなると考える。

一方、現場データからの学習モデルに対する AI 検出精度は、学習モデルのパラメータ数が 25.9M において、平均 89.5%であった。なお、現場データからの学習モデルとパラメータ数が近いレンジでの、既存の学習モデルの検出精度の値は、63.8%から 66.7%であった。従って、本検証で用いた現場データからの学習モデルの検出精度は、既存モデルと比べても著しく高い精度であると考える。

また、現場データからの学習モデルを用いた AI 検出を実施した結果、検出された物体のクラスが正解であった割合は 62%から 100%であった。検出対象物のクラスによってばらつきが存在していたが、各クラスとも、誤検出された物体数よりも、正しく検出された物体数の方が多く結果であった。従って、現場データからの学習モデルは、誤検出数も多くない AI 検出が可能な学習モデルであると考える。

上記から、両学習モデルとも、既存の学習モデルの検出精度と同等以上であったが、それぞれの学習モデルに適した用途があると考える。

一般データからの学習モデルを用いた場合、一般形状の対象物が設置されている施設において、平均 56.2%の検出精度の AI 検出の実施が可能である。従って、一般データからの学習モデルを用いることで、異なる施設において実施される点検に対して、共通して使用可能な AI 検出の提供が可能であり、この AI 検出を検査員による点検作業と併用することで、それぞれの施設にて実施される点検作業のコストの削減に寄与できると考える。

一方、現場データからの学習モデルを用いた場合、今回の施設と同じ形状の対象物が設置されている施設において、平均 89.5%の検出精度の AI 検出を実施可能である。なお、検査対象の施設に設置されている対象物の形状が、今回の施設の形状と異なる場合は、検査先施設の対象物の画像を用いた、学習モデルの再学習が必要となる。従って、現場データからの学習モデルを用いることで、同じ施設において繰り返し実施される点検に対して、その施設に特化して使用可能な AI 検出の提供が可能であり、この AI 検出を検査員による検査作業と併用することで、同じ施設において繰り返し実施される点検作業のコストの削減に寄与できると考える。

また、今回作成した各学習モデルの AI 検出精度とは別に、ドローンからの撮影映像に対して以下のような課題も存在していた。

- 遮蔽物等によって、検出させたい対象物の一部又は全部が撮影映像に映っていなかった。

- 撮影条件によって、検出させたい対象物の色彩が変わり、視認できない状態で撮影映像に映っていた。（例えば、対象物に直射日光があたり、対象物の色が真っ白になっていて認識できない状態となっていた対象物も存在していた。）
- 撮影角度によって、検出させたい対象物の形状が変わり、視認できない状態で撮影映像に映っていた。

これらの課題に関して、撮影条件が異なるポイントにて撮影された映像を組合せることで、検出可能な対象物の数を増やすことが可能であると推測した。この推測が正しいかを確認するために、検出対象物から、警告札、消化設備、貯水槽、ドラム缶、ボイラーを 1 つずつ抽出したうえで、各ポイントからの AI 検出結果の画像の確認を実施した。各ポイントからの AI 検出結果の画像の確認結果を以下表 3.2-38 に示す。

表 3.2-38 各ポイントからの AI 検出結果の画像の確認結果

Class	ポイント①	ポイント②	ポイント③	複数ポイントの組合せ
警告札 1	×	○	×	○
消化設備 1	×	×	○	○
貯水槽 1	○	○	○	○
ドラム缶 1	○	○	×	○
ボイラー 1	○	○	× ※一部のみ検出	○

ここで、抽出した対象物の AI 検出画像についても以下図 3.2-85 に示す。なお、各対象物の AI 検出画像ともに、左から順番に、ポイント①にて撮影された画像に対する AI 検出画像、ポイント②にて撮影された画像に対する AI 検出画像、ポイント③にて撮影された画像に対する AI 検出画像である。

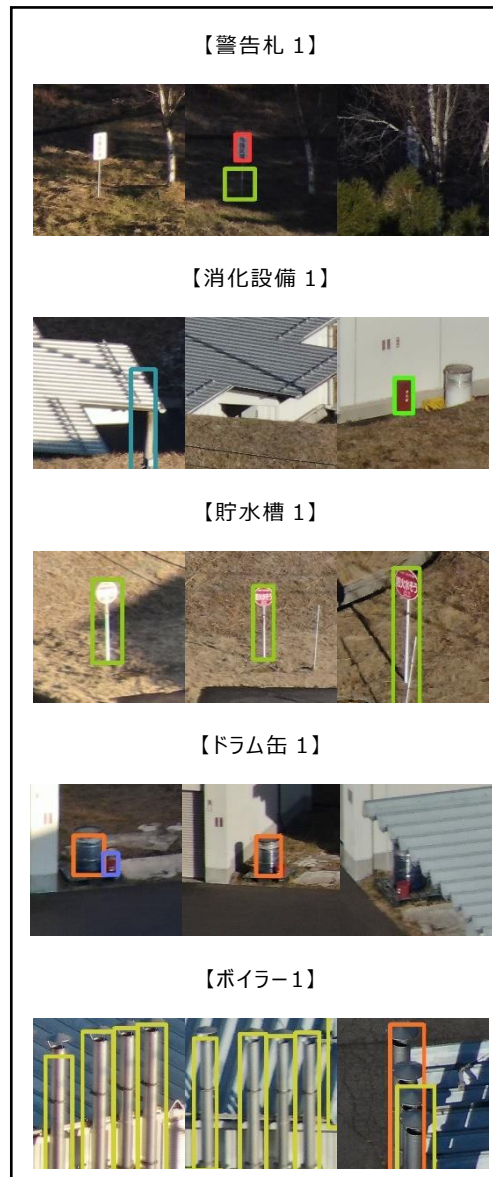


図 3.2-85 抽出した対象物の AI 検出画像

上記結果が示す通り、1つのポイントにて撮影された画像を用いた AI 検出では検出できなくても、複数のポイントにて撮影された画像を用いた AI 検出では検出できた検出対象物も存在していた。従って、撮影条件が異なるポイント（同じ地点を写した画像であっても、遮蔽物等により撮影画像に映った対象物数が異なるポイント）にて撮影された画像を組合せることで、検出可能な対象物の数を増やすことが可能になると考える。例えば、撮影条件が異なるポイントとして、対象物 A、B の撮影が可能なポイント 1 と、対象物 A、C の撮影が可能なポイント 2 があつた場合、ポイント 1 にて撮影された画像のみを使用した AI 検出では最大 2 つの対象物しか検出できないが、ポイント 1、2 にて撮影された画像を使用した AI 検出では最大 3 つの対象物の検出が可能となる。

【警告札について】

- 遮蔽物がなく向きがほぼ正面の物体であれば、映っている大きさが約 600 ピクセルまで AI 検出が可能であった。
- 向きが斜め等で視認しづらい場合であっても、約 4200 ピクセルの大きさに映っていれば AI 検出が可能であった。
- 警告札の場合、形状が 2 次元の平面であり、撮影角度によって視認性が変わってくるため、撮影角度によって AI 検出精度が変化していた。

【消火器について】

- 遮蔽物がない状態であれば、グリッド撮影（カメラズーム倍率：15 倍）の場合は約 2600 ピクセル、ズーム撮影（カメラズーム倍率：23 倍）の場合は 7800 ピクセルの大きさになっていれば AI 検出することが可能であった。
- 撮影条件によって多少の誤差はあるが、対象物体のサイズが検出可能な最小ピクセル数を下回った場合には、肉眼で視認できたとしても（例えば、撮影高度別の AI 検出検証の 140m、150m の結果等）、AI 検出はできていなかった。
- 消火器の場合、形状が円柱型であり、撮影角度が変わっても視認性に変化があまりみられないため、撮影角度による AI 検出精度の変更はほとんど見られなかった。

【警告札、消火器に共通する点について】

- AI 検出できなかった物体に関しては、遮蔽物や向きが真横になっている等により視認性がない物体であった。

これまでの結果から、各モデルに対する結論は以下となる。

- ・一般データでの検出精度でも、作業のコスト削減には寄与可能である。
- ・更なる精度を求めるのであれば、（初期コストはかかるが）現場データを用いることが有効である。

(イ) 安全性

本実証項目はドローンを使用した作業となるため、項目 3.2.1.1 と同様の内容となる。

(ウ) 信頼性

昨今のドローンの性能として耐風性能等の機能向上が見られ、本技術実証に使用したドローンにおいても最大風圧抵抗 12m/s と強い風速の中でも飛行可能となっている。本実証項目における作業を行う中でドローンが飛行している最中に 5m/s 程度の風が吹いていたが、その中でも検査可能な映像の取得ができていた。

ただし、使用するドローンは防水機能を備えているため雨天での飛行は可能となるが、搭載するカメラのレンズに水が付着した場合、精細な静止画の取得は難しい。また、操縦装置については防水機能を備えていないことから雨天時のデータ取得は困難となる。雨天時の飛行については、雨天の環境下にも耐える防水レンズの開発や、操縦装置の防水対応等の新技術の発展に期待する。

データ取得時のデータ改ざんリスクへの対策は、AI 画像解析に読み込める形式を RAW 形式に制限

するなど、改ざんされていないデータで行う方法がある。その際、解析結果は画像や PDF などの形式では改ざんされるリスクを排除することは困難なため、検査機関と共有したクラウドシステム上で管理することやクラウドシステムには解析結果以外のデータをアップロードすることはできないようにするなどの対策が必要である。ただしこれらの対策は、AI 解析ソフトの開発事業者や検査者・被検査者を含めた全体的な取り組みとなるため、導入可否は、本技術実証以外での対応が必要と考えられる。

また、データ送信時の改ざん、漏えいリスクに対しては、実証項目②点群データによる計測・携帯型・地上型レーザースキャナによる点群データの取得と同様の対策が考えられる。

(エ) 工数

詳細な工数は、実証段階のため明確な数値の積算が難しいため詳細な比較は不可能だが、以下のような作業を考えると、目視による検査に比べ AI 画像解析を利用すると、数時間レベルの工数の短縮が見込まれる。

今回撮影した検査対象施設や設備の静止画合計 460 枚の中から、検査対象施設毎に大量にある静止画の中から検査箇所を静止画を選別し、その中からさらに検査に資する静止画を抽出すると想定する。これを目視で行う場合は、静止画 1 枚当たりの確認時間を 30 秒と仮定すると全ての静止画の確認から検査用の特定までに要する時間は約 4 時間となる。AI 画像解析では、460 枚の静止画投入と抽出結果の確認時間のみとなる。

(オ) コスト

工数と同じく実証段階のため明確な数値の積算による詳細な比較は不可能だが、同じ理由にて人件費の削減が見込まれる。

また、検査対象の工場の人員が撮影作業を行い、検査員へ撮影データを受け渡すことで検査を実施する等し、検査員が現地へ向かわず検査を実施できれば、検査員の交通費の削減にもつながる。

3.2.4 図面の AI 差分解析

本実証項目では、点群データまたは紙図面を基に電子図面の作成を行い、既存の紙図面との比較のため、AI による差分検出を行った。実施結果は以下の通りである。

3.2.4.1 紙図面・点群データの電子図面化

(1) 電子図面化結果

(ア) 点群データからの作成

点群データから電子図面を作成する場合は、取得した点群データを元に形状を再現している。屋外のデータを含む図面では、検査対象として土堤や切通口などの構造も含まれているため、建屋とその周辺の構造までを再現している。

3次元図面（BIMモデル）でも上記と同様に、LOD200で再現される建物の構造に加え、検査対象となる設備（照明等）や土堤の形状を点群が取得できている限りオブジェクトを追加して作成した。

実際に作成した電子図面を図 3.2-86 から図 3.2-93 スプリンクラーに示す。（左図：2次元図面、右図：3次元図面）

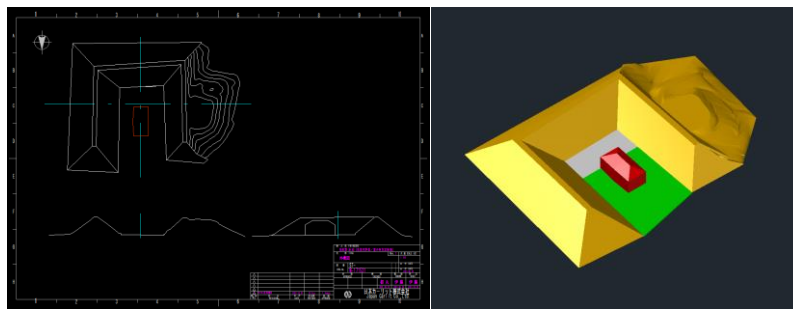


図 3.2-86 試験場

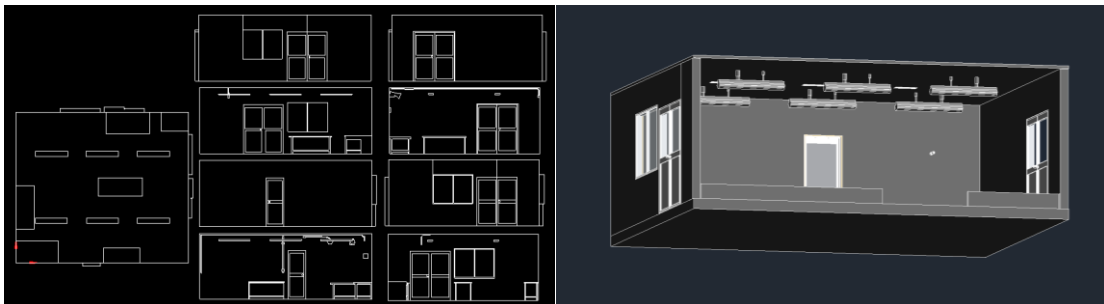


図 3.2-87 危険工室

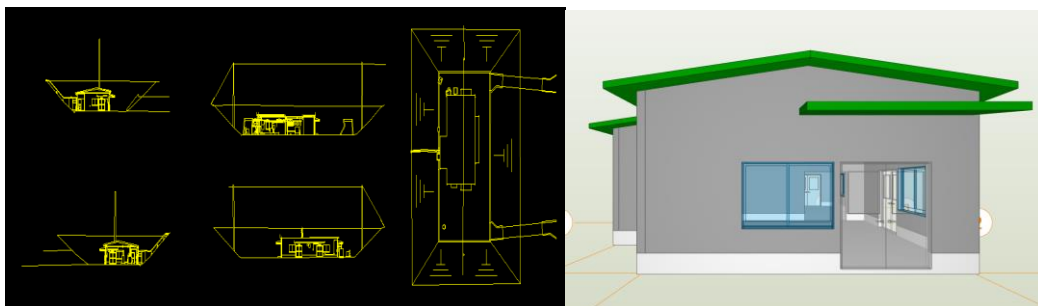


图 3.2-88 危险工室 (外觀)

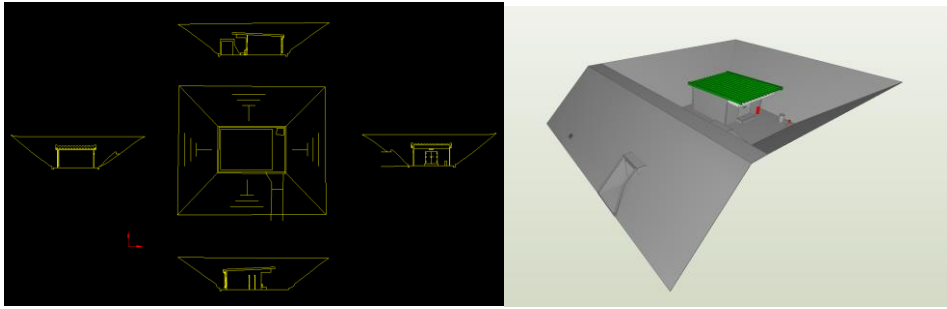


图 3.2-89 火藥類一時置場 (外觀)

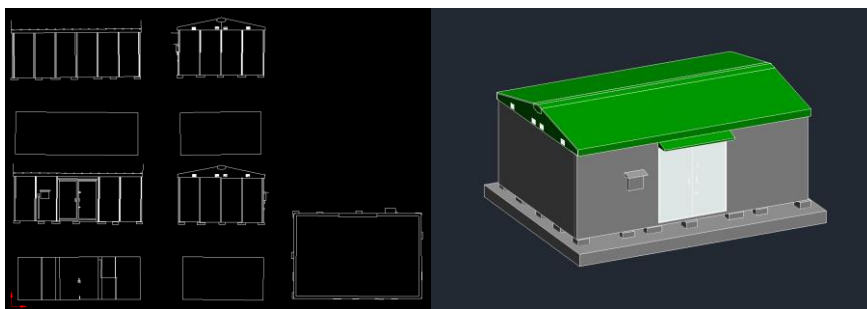


图 3.2-90 地上式 2 級火藥庫

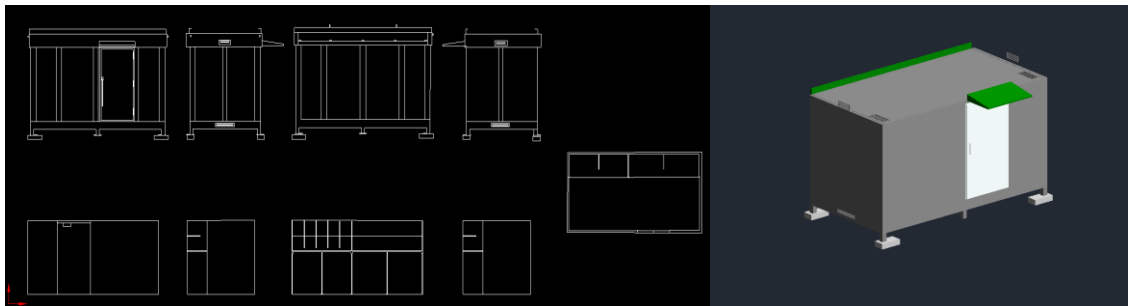


图 3.2-91 火藥類取扱所

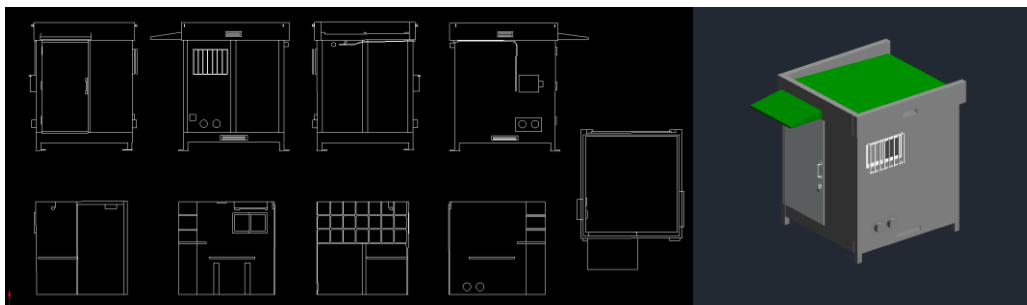


图 3.2-92 火工所

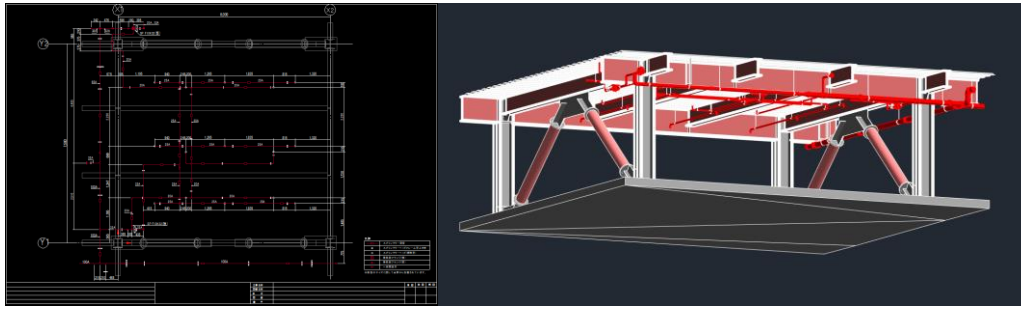


図 3.2-93 スプリンクラー

(イ) 紙図面から作成

既存の紙図面から電子図面を作成する場合は、紙図面の情報に従って作業を進めているため、設備の内部構造や材質などの情報も含めることが可能となる。形状としても、点群データから作成する電子図面と比較すると、情報量が多くなることが考えられる。

3次元図面（BIMモデル）では、LOD200とした建物の構造は作成したが、設備図面等がない場合は、照明設備や標識、土堤や切通口などの建屋以外の構造については、既存の紙図面から確認できないため、作成できていない。

本実証項目では既存の図面データの提供を受けた施設に限り、電子図面の作成を行った。

紙図面から作成した電子図面を図 3.2-94 から図 3.2-98 火工所に示す。（左図：2次元図面、右図：3次元図面）

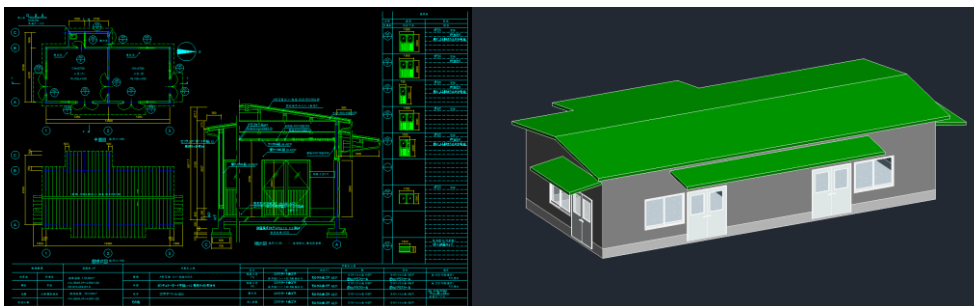


図 3.2-94 危険工室

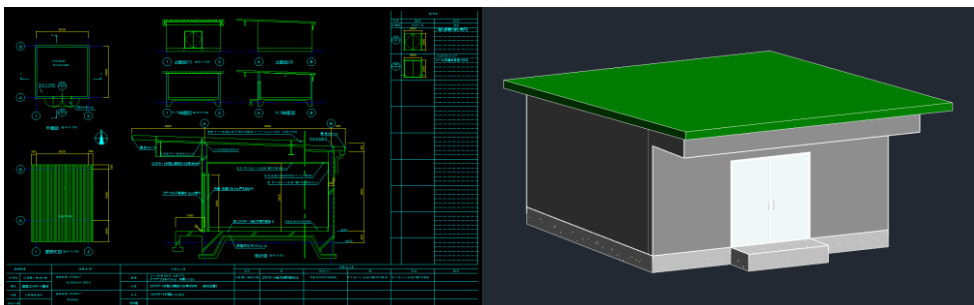


図 3.2-95 火薬類一時置場

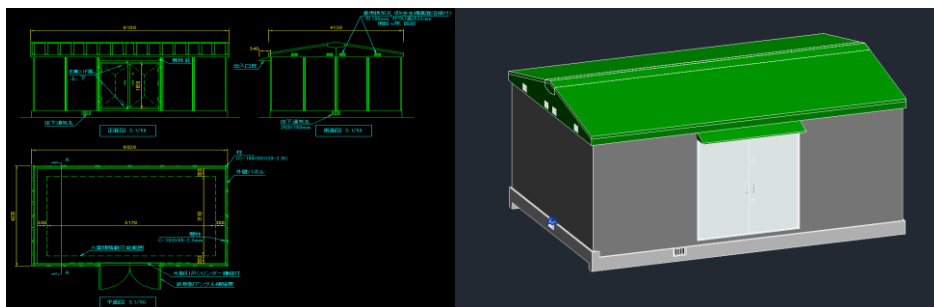


図 3.2-96 地上式 2 級火薬庫

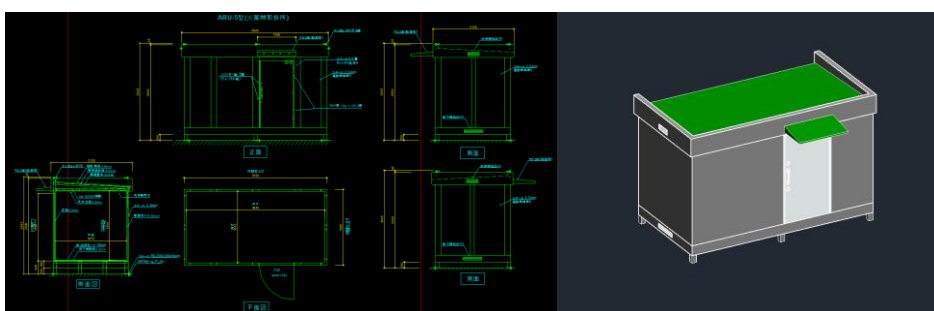


図 3.2-97 火薬類取扱所

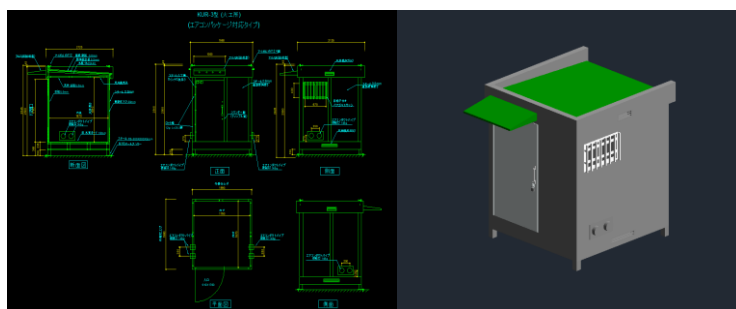


図 3.2-98 火工所

(2) 電子図面化の評価と分析

(ア) 精度

建物内部・外観の作成を実施した危険工室に対し、作成した 2 種類の電子図面と既存の紙図面との寸法の比較を行った。

計測箇所は図 3.2-99 計測ポイント（点群データ）で示す 5 箇所で行い、計測結果は表 3.2-39 各図面での計測結果に示す。

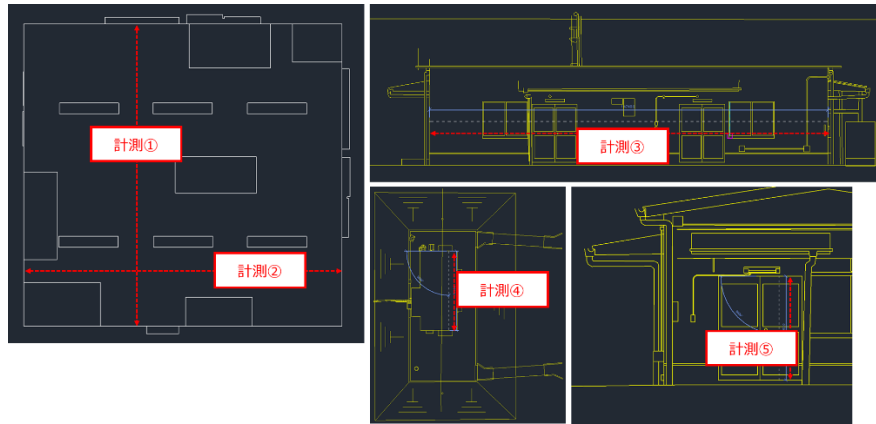


図 3.2-99 計測ポイント（点群データ）

表 3.2-39 各図面での計測結果

（単位：mm）	既存図面の寸法	電子図面 （紙図面）	電子図面 （点群データ）
計測①	6370	6370	6199.2
計測②	7280	7280	7101.7
計測③	14560	14560	14741.3
計測④	15560	15560	15630.5
計測⑤	2000	2000	2067.0

紙図面を基に作成した電子図面については、既存の紙図面に記載されている寸法を基に作成しているため、誤差は発生していない。

点群データを基に作成した電子図面については、既存の紙図面ほどの緻密な図面を作成はできていないため、計測時に選択する部材が明確になっていないことや点群自体の精度が要因となり、作図の際に誤差が発生していると考えられるが、確認された誤差は最大でも5%未満であったことから、確認できた構造の寸法については、既存の紙図面と同等の精度で作図できていると考える。ただし、建屋の材質や内部構造が再現できない点においては、既存の紙図面と比較した場合に劣る項目となる。

（イ）安全性

電子図面の作成作業については、危険区域など爆発の危険性がある敷地内で行う必要はないため、防爆仕様などの特殊な要件はなく、作業を行うことが可能である。

このため本項目の安全性については特筆すべき対応は必要ないことが考えられるが、点群データから電子図面の作成を行う場合のデータ取得については、項目 3.2.2.1 および項目 3.2.2.2 で前述した安全性の項目に準じる必要がある。

（ウ）信頼性

既存の紙図面あるいは点群データから電子図面の作成を行う場合は、参照するデータの正確さにより、本項目で作成するデータにも影響することが考えられる。既存の紙図面を参照する場合は、建築当時あ

るいは設備更改を繰り返す中で、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。また、図面作成にあたって点群データを参照する場合は、取得する機器の性能により点群データ自体の正確さが異なる。

以上から、電子図面の作成を行う場合は、参照するデータを精査し、正確な情報を入手することで信頼性の向上に繋がると考える。

データ取得時のデータ改ざんリスクへの対策は、点群データ取得までは、実証項目②の対策と同様である。しかし図面電子化後のデータになると改ざん防止が難しいため、被検査者ではなく、検査者もしくは検査者が委託する第三者が 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 解析ソフトの開発事業者や検査者・被検査者を含めた全体的な取り組みとなるため、導入可否は本技術実証以外での対応が必要と考えられる。

また、データ送信時の改ざん、漏えいリスクに対しては、実証項目②点群データによる計測・携帯型・地上型レーザスキャナによる点群データの取得と同様の対策が考えられる。

(工) 工数

対象となる設備の数や面積により変動することから、明確な工数を算出することができないため、本実証項目の中で実際の火薬類製造施設で使用されている設備に対して作成した図面の工数を基準として考える。

それぞれの手法から作成した電子図面にかかる工数は以下のとおりである。

- 危険工室：（点群データより）24 時間、（紙図面より）18 時間
- 火薬類一時置場：（点群データより）16 時間、（紙図面より）12 時間

上記より、作成する際に参照するデータによって工数が変わることが想定される。点群データから作成する場合の工数が増加する要因としては、設備などの形状を基準に作業を進める必要があるが、項目 3.2.2 で前述したように、点群データの正確さや歪みなどによりデータが正確に取得できていない場合は明確な基準がないため、完成までに時間を要することや点群データでは図面に記載されていない建屋周辺の構造（土堤等）が含まれるため、作業量が増加していることが考えられる。

紙図面からの作成を行う場合は、様式が定まっていることや寸法、材質などの補足情報が明確に記載されているため、電子図面を作成する場合にも作業が容易に行える。

また「危険工室」については、機材持ち込みの安全上の観点から点群データを取得できる工室に制限があったため、建物内部の作業範囲が異なる。図 3.2-100 で示すとおり、危険工室の内部は点群データからの電子図面を作成する範囲（図の赤枠内）は 1 つの工室であることに対し、紙図面からの電子図面の作成する範囲（図の青枠内）は建屋全てを行っている。

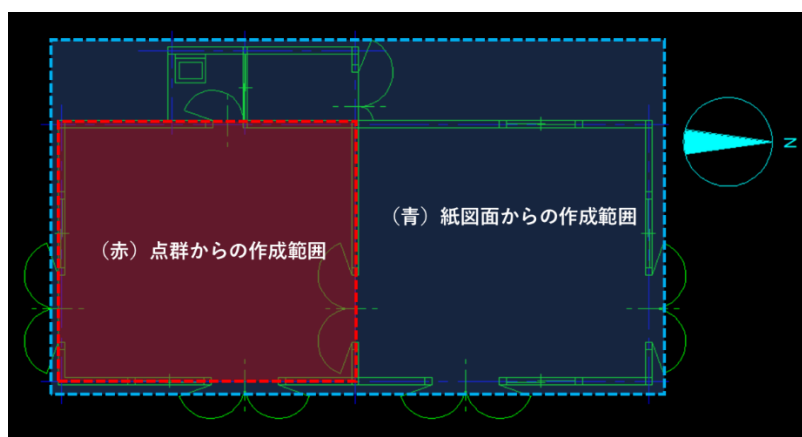


図 3.2-100 点群及び紙図面からの作業範囲の違い

また図面の電子化では、AI による解析や既存の図面による検査に置き換えるだけでなく、様々な用途で活用することで、検査全体の効率化を図ることが可能であると考えます。

(オ) コスト

コスト（作業単価）については、「図面作成業務積算基準」に基づくと仮定して算出した。作業毎のコスト算出については、以下の式に準じる。

$$\text{各作業単価} = (\text{直接人件費} + \text{直接経費} + \text{その他原価} + \text{一般管理費等}) + \text{消費税相当額}$$

直接人件費の修正係数を「追加作成」と仮定して算出した場合、図面 1 枚当りの単価は約 32 万円となる。ただし、検査項目に必要となる情報に不足がある場合の対応などを踏まえて、コストの算出方法についても精査を行っていく必要があると考えます。

3.3.4.2 電子化図面の AI による差分解析

(1) AI による差分検出の結果

前項 3.2.4.1 (1) (ア) および (イ) で作成した電子図面データから AI による差分解析を行った。

検査時に取得したデータから図面を作成することで設備・施設などに変更が加えられている状態と過去に作成された状態の比較を行うことができるため、瞬時に変更箇所を確認・特定することができる。図 3.2-101 は紙図面から作成した電子図面と既存の紙図面を複合機などのスキャン機能を用いて電子化した既存図面を比較した結果となる。

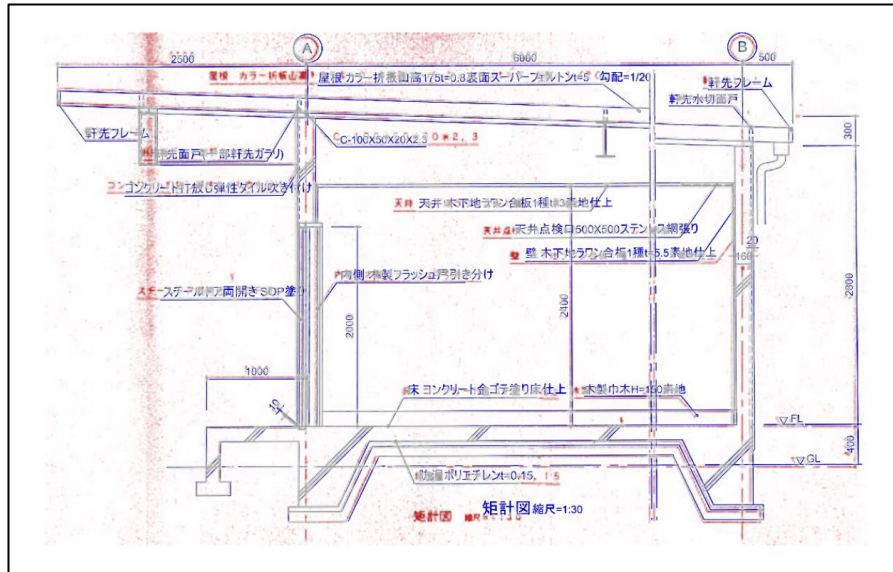


図 3.2-101 AI 解析による差分検出例（紙図面ベース）

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。

本実証項目の中では、既に検査を受けた紙図面から実際に設備の更改などによる変更は発生していないため、建屋の構造や設備の情報に差は発生していない。

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。

実際の設備更改や増設を行った際に受ける検査では、前回の検査時からの変更点を確認する必要があるため、上記の結果より微細な差分までを検出できていることから、更新された図面に変化があった場合は十分に検出することが可能であると判断する。

設備の増設・撤去を想定した検出結果については、0 に後述する。

図 3.2-102 は、点群データから作成した電子図面と電子化した既存の紙図面を比較した結果となる。

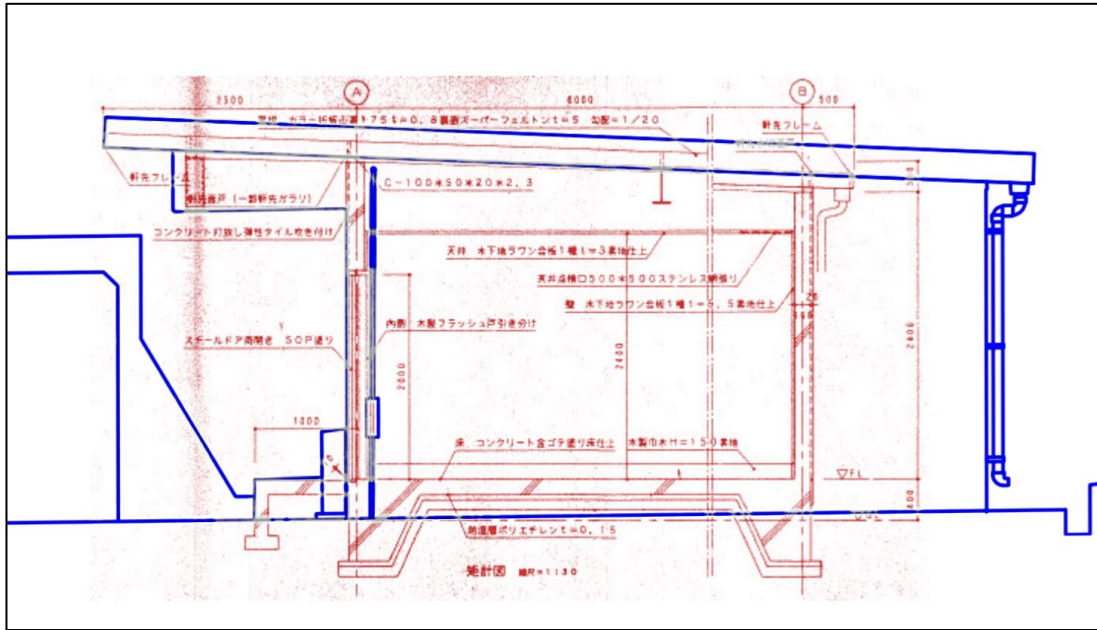


図 3.2-102 AI 解析による差分検出例（点群データ）

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。

- 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。

(2) 差分解析の評価および分析

(ア) 精度

既存の紙図面から作成した電子図面データと複合機などのスキャン機能を用いて電子化した既存の紙図面データを用いて AI による差分解析を行った結果として、解析結果には差分が発生したが、主にテキストや紙図面をスキャンした際の劣化によるものが大半であり、建屋の構造や設備に直接影響するものではないため、差分検出の精度としては検査が可能な性能を有していると判断する。

点群データから作成した電子図面データとの解析結果では、大きく差分が検出されていることから、比較する既存の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だと考えられる。課題として、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た既存図面との比較となる場合は純粋な比較を行えないことや、既存の紙図面から作成する電子図面では前述したようにテキスト位置・フォントの違いや紙図面のスキャン時の劣化による差分が検出されることが挙げられる。

このため、いずれかの方法で作成した電子図面から差分検出による検査の効率化を図る場合は、あらかじめベースとなる電子図面を作成し、既存の紙図面と比較を行うことで、作成した電子図面が既存の紙図面と精度が近似していることを明確にした後に、電子図面をベースとして適宜更新・修正を行っていく必要がある。ただし、作成した電子図面と既存の紙図面の情報が大きく異なる場合は、必要に応じて

現地に赴き、既存の紙図面と現地の状況を目視により確認するなどを行うことで作成する電子図面の精度を高める必要がある。

仮に設備の増設・撤去を想定して、作成した電子図面に対し変更を加えた図面と、変更前の電子図面を比較すると、図 3.2-103 のように検出される。

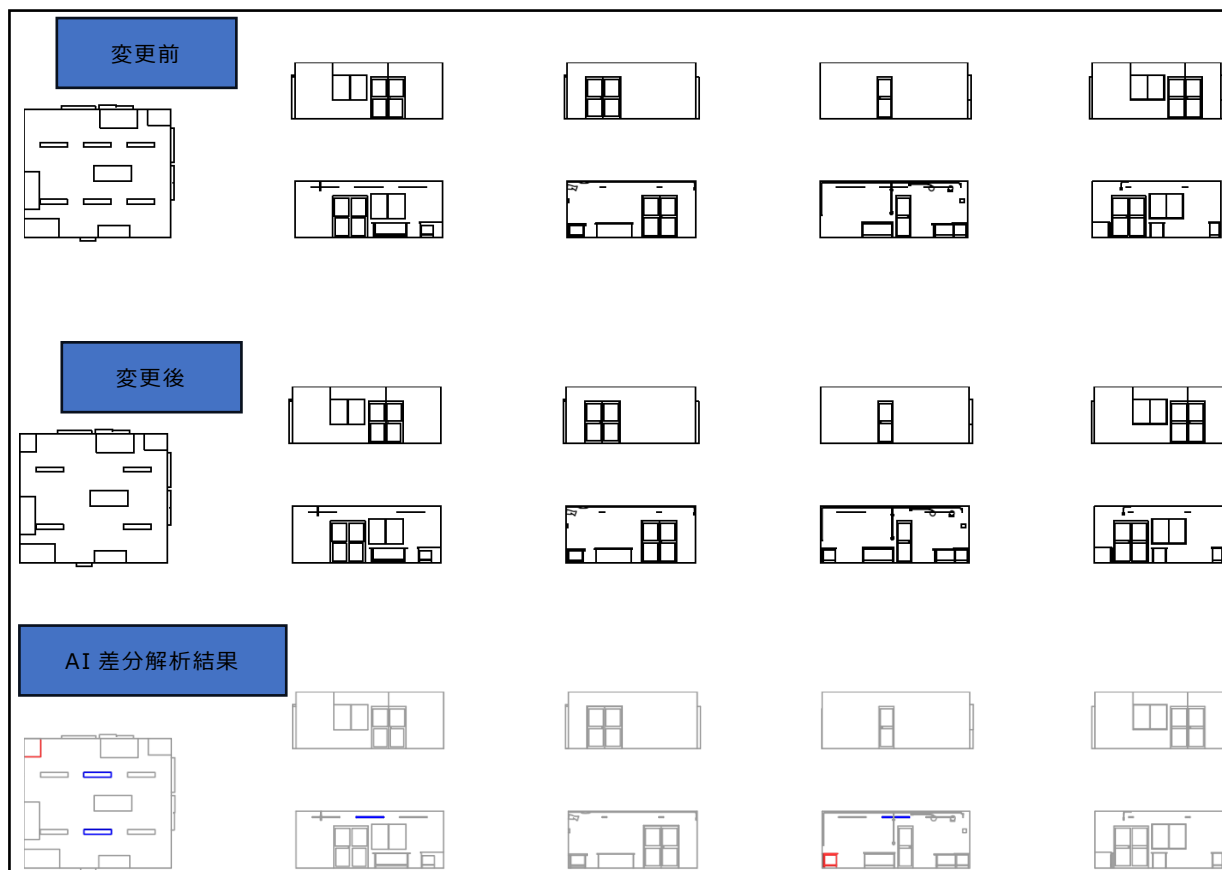


図 3.2-103 設備更改時の検出イメージ

赤線部分が設備を増設した部分であり、青線部分が撤去したイメージとなる。

ベースとなる図面を合わせて差分を検出することで、明確に変化点を検出することが可能なため、一目で変更点の確認が可能となることから、施設・設備の更改や入れ替えがあった場合に、図面を用いた検査を行う際の効率化を図ることが可能である。

従来の検査手法である図面による検査を行う場合は、人が目で見て確認を行うため、微細な差分までを全て確実に特定することは難しいが、AI による解析を行うことで機械的に全ての差分が検出されるため、人が見て判断するよりも早く、確実に特定することが可能になると考える。

前述したとおり、線形の微細な違いまで検出・特定できることを本技術検証の結果から確認ができたため、AI による差分で検出できる精度は人の目で見て行う検査よりも精度が高いと判断する。

電子図面については、AI による差分検出に限らず、別表第一から別表第四に「～図面により検査する」と記載された項目では紙図面に置き換えて活用することが可能だと考える。ただし、点群データからで

は設備の材質や小屋組などの見えない内部構造を判断することが困難であり電子図面に情報を記載することができないことから、一部の項目については、既存図面と同等の検査が行えない場合がある。

点群データから電子図面を作成することは、既存図面が存在しない建屋や設備に適していると考えられるが、十分な検査が行えないような事態を避けるため、ベースとなる電子図面を作成する際には、専門家による目視検査や残存する情報を整理して電子図面を作成することで、従来の図面の確認を行う検査と同等の品質となることが考えられる。作成した電子図面の更新を行う場合は、既に必要な情報は記載されていることから、変更箇所のみを書き換えることで、電子データとして保管し続けることが可能となる。

作成した電子図面をより効率的に活用するために、3.2.5 で後述する点検記録アプリで図面データを登録しておくことにより、ピンを登録するベースデータとして活用することで、目視検査だけでなく、同時に図面による検査も行えるようになると思う。

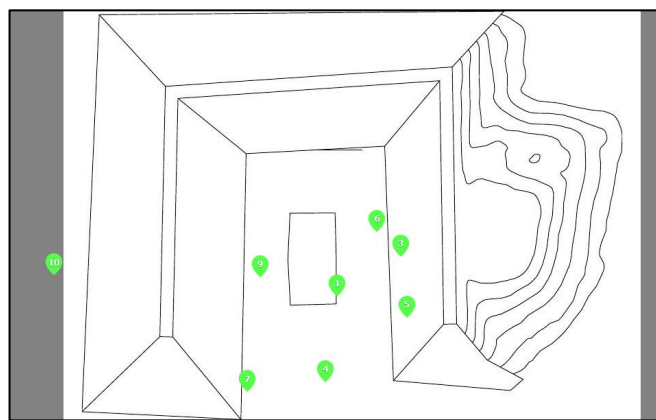


図 3.2-104 作成した電子図面を点検記録アプリに登録

実態に即した形状の図面を背景に登録しておくことで、現場の形状や検査箇所を明確にできることから、検査（データ取得）時のギャップを無くすことができると考える。

また BIM モデルを作成・活用することにより、平面図や立面図などの複数の 2 次元図面からの計測ではなく、1 つのデータで水平・垂直・勾配などの計測を行うことが可能となる。

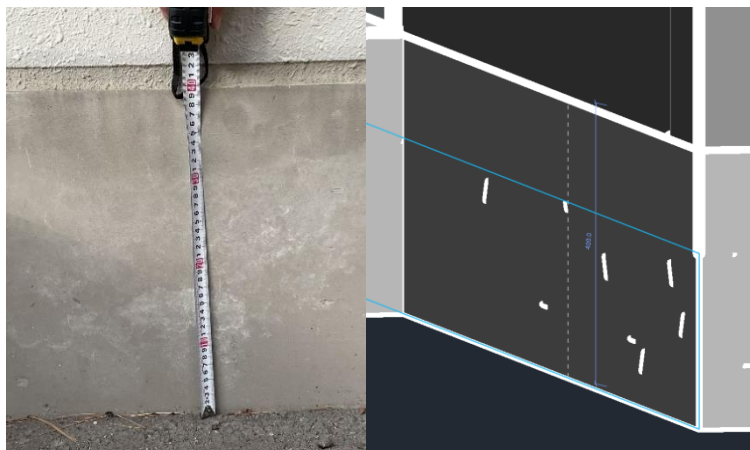


図 3.2-105 (左) 実測風景、(右) BIM モデルでの計測

本実証項目において作成した BIM モデルは LOD200 として作成を行ったが、必要に応じて LOD300 / 350 に上げることで、より詳細な構造を再現し、検査に適用できる図面を作成することも可能であると考える。

さらに点検記録アプリ（Pinspect）にある BIM 連携機能では、あらかじめ検査箇所を BIM モデル上で作成し、点検記録アプリで読み込むことで、事前にピンの設定ができることから、現地で検査箇所の撮影を行う作業者が新規にピンを設定する必要がなく、登録された箇所の撮影を行うだけで、検査に必要なデータが取得可能となる（詳細は 3.2.5）。



図 3.2-106 Pinspect の BIM 連携イメージ

（エム・ソフト社 HP より引用 <https://www.msoft.co.jp/service/pinspect.html>）

（イ）安全性

AI による差分解析作業については、危険区域など爆発の危険性がある敷地内で行う必要はないため、防爆仕様などの特殊な要件はなく、作業を行うことが可能である。

（ウ）信頼性

0 で前述したとおり、雨・風などの気象環境や地場や電波などの現場環境に影響を受けるものではないため、信頼性に関する評価はないものとする。

（エ）工数

差分検出 AI を活用する場合、ソフトウェアのインストール後すぐに使用することが可能なため、図面の差分検出を行うために発生する作業としては、変更前及び変更後の図面データをソフトウェアに登録するのみとなる。実際に登録するデータが手元に整理されていることを前提とした場合は 1 分程度で差分検出の解析を実行することが可能である。検出結果が表示されるまでに掛かる時間は本技術実証の中で行ったデータでは 1 頁（2 ファイルの比較）当り、概ね 5 分未満で確認できた。ただし、比較する図面データに大きく差がある場合は、自動あるいは手動によるファイルの調整（位置／縮尺合わせ）が必要となる。

従来の検査手法では、図面を人が目で見て確認する必要があるが、検査員によることや検査対象箇所が一定ではないため、一概にどれほどの時間を要するかを判断することが難しい。

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する。ただし、材質や寸法な

ど、図面の確認のみを行うような検査の場合は、本実証項目の技術が適用できない場合もあると考える。

(オ) コスト

本実証項目の手法を用いるためには差分検出 AI のライセンス費用が必要となるが、従来の検査手法による図面の確認に掛かる工数によって、コストメリットが出るかが変動すると考える。ただし、前項でも記したとおり、人的ミス（見落とし等）を抑止できることから、従来の検査手法と比較して同程度の工数である場合、検査自体の精度を向上させることで、多少のコスト増となる場合でも優位性があると考えられる。

3.2.5 点検記録アプリによる可視化

3.2.5.1 点検対象と点検箇所の可視化表示（Pinspect）

（1）結果

火薬類取締法施行規則第 44 条および第 44 条の 5 に係る、別表第一から別表第四の目視、測定の対象物の検査部分に関して、iPad のカメラを通じて Pinspect アプリによる対象箇所の 3 次元座標にデジタル付箋「ピン」の設置（日付、撮影内容、記事等の入力も可能）を行えることを確認した。図 3.2-108 に AR（拡張現実）のピン表示および図 3.2-109 2D 図面へのピン配置（試験場）を示す。また Pinspect で設置したデジタル付箋ピンを図面及び 3 次元点群データ上に設置し、表示することができることを確認した。図 3.2-110 3D 点群データへのピン配置を示す。

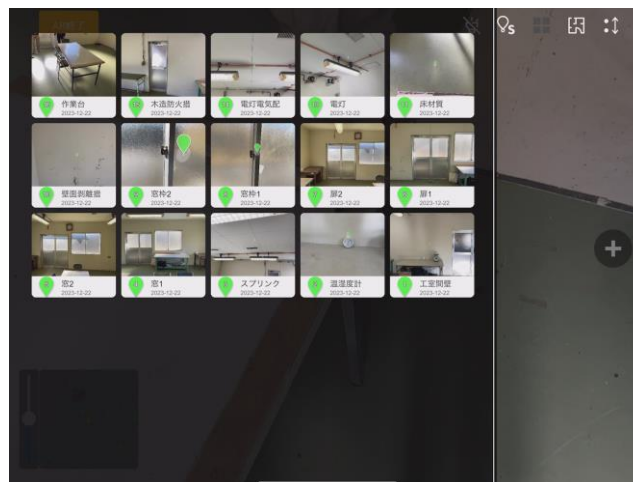


図 3.2-107 確認検査部分（ピン）の選択画面

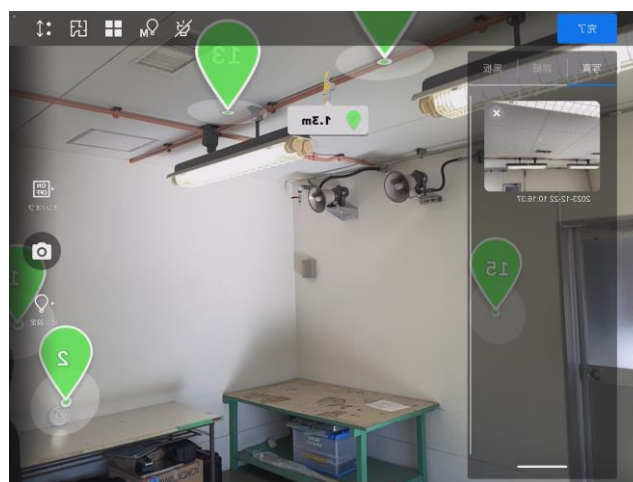


図 3.2-108 AR（拡張現実）のピン表示

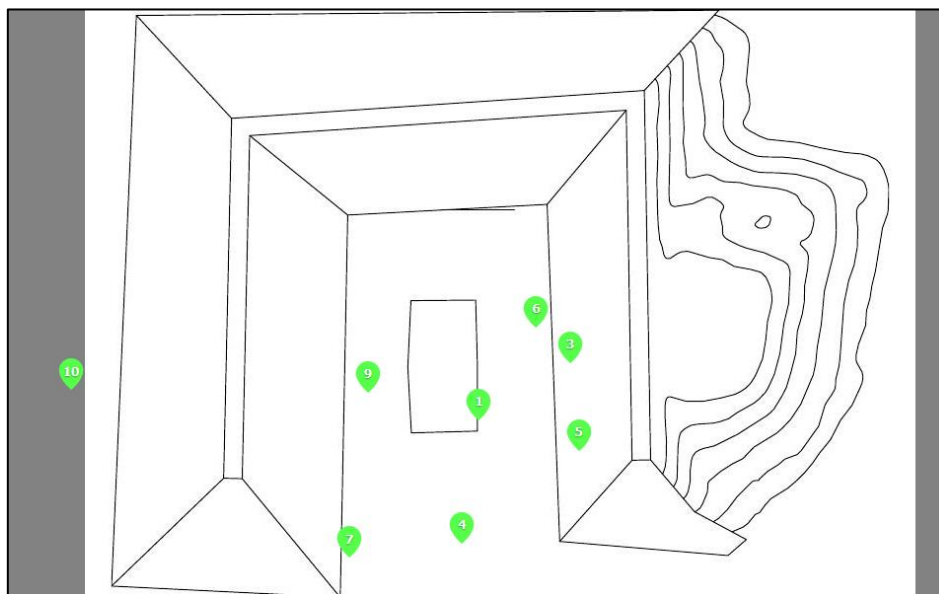


図 3.2-109 2D 図面へのピン配置 (試験場)



図 3.2-110 3D 点群データへのピン配置

Pinspect を用いて実施した点検の記録内容について、ピンの一覧画面を図 3.2-111、Pinspect レポート出力結果 (抜粋) を図 3.2-112 から図 3.2-114 に示す。
 (代表例として火薬類製造施設の危険工室 (屋内) の一部抜粋)

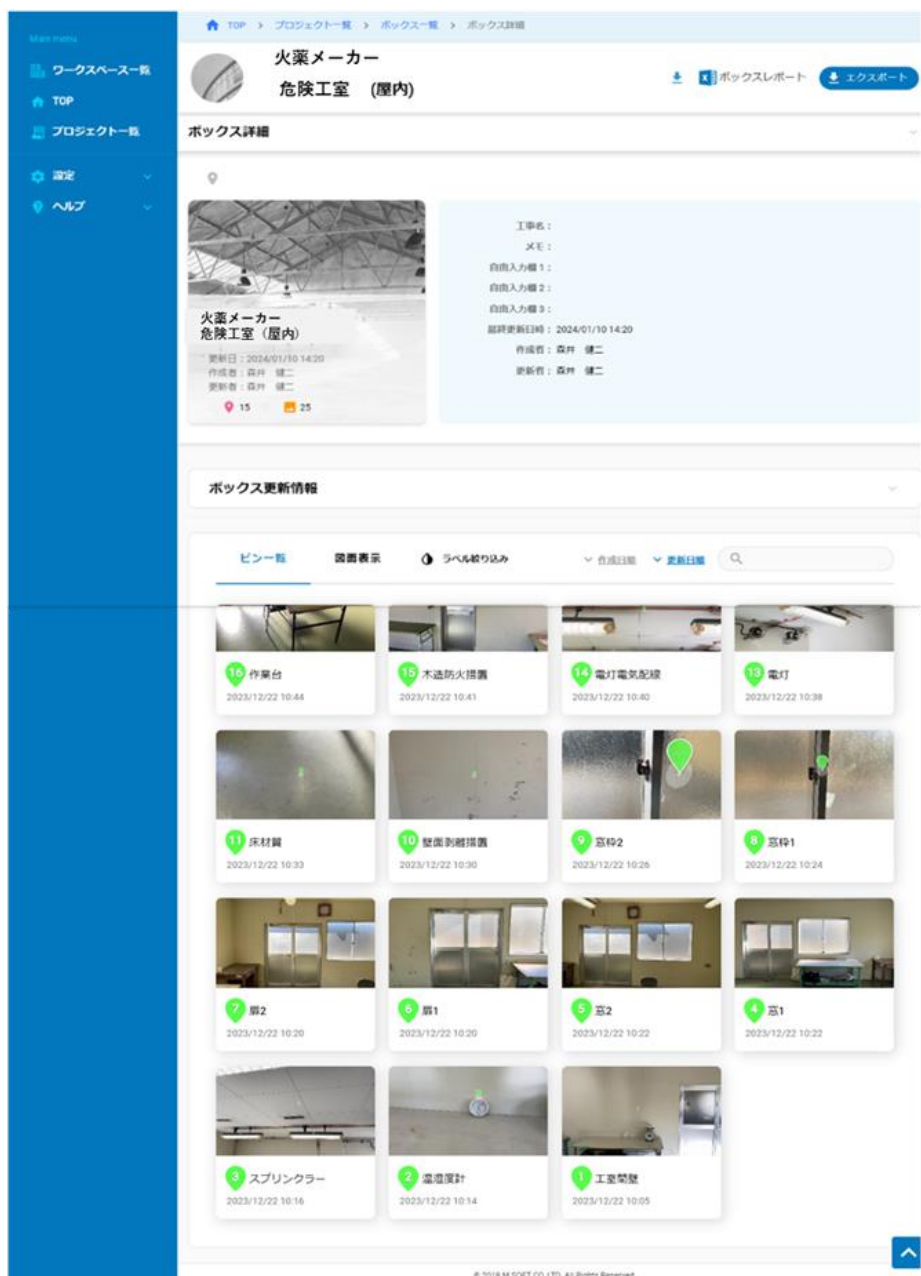


図 3.2-111Pinspect ピン一覧

火災工場 火工所(屋内)	報告書
	No. 1-13の2 発火防止措置
	撮影日
	状況
	撮影者
メモ 1-13の2 発火・爆発防止措置 (測定、及び作動試験等)	
	No. 1-13の2 発火防止措置
	撮影日
	状況
	撮影者
メモ 1-13の2 発火・爆発防止措置 (測定、及び作動試験等)	
	No. 1-13の2 発火防止措置
	撮影日
	状況
	撮影者
メモ 1-13の2 発火・爆発防止措置 (測定、及び作動試験等)	

図 3.2-112 Pininspect レポート出力結果 (抜粋)

	<table border="1"> <tr><td>No</td><td>1-13の2 発火防止措置</td></tr> <tr><td>撮影日</td><td></td></tr> <tr><td>状況</td><td></td></tr> <tr><td>撮影者</td><td></td></tr> </table>	No	1-13の2 発火防止措置	撮影日		状況		撮影者	
No	1-13の2 発火防止措置								
撮影日									
状況									
撮影者									
<p>メモ</p> <p>1-13の2 発火・爆発防止措置 (測定、及び作動試験等) スプリンクラー</p>									
	<table border="1"> <tr><td>No</td><td>1-15 窓の構造</td></tr> <tr><td>撮影日</td><td></td></tr> <tr><td>状況</td><td></td></tr> <tr><td>撮影者</td><td></td></tr> </table>	No	1-15 窓の構造	撮影日		状況		撮影者	
No	1-15 窓の構造								
撮影日									
状況									
撮影者									
<p>メモ</p> <p>1-15 窓・出口の構造 (避難構造)</p>									
	<table border="1"> <tr><td>No</td><td>1-15 窓の構造</td></tr> <tr><td>撮影日</td><td></td></tr> <tr><td>状況</td><td></td></tr> <tr><td>撮影者</td><td></td></tr> </table>	No	1-15 窓の構造	撮影日		状況		撮影者	
No	1-15 窓の構造								
撮影日									
状況									
撮影者									
<p>メモ</p> <p>1-15 窓・出口の構造 (避難構造)</p>									

図 3.2-113Pinspect レポート出力結果 (抜粋)

	<table border="1"> <tr> <td>No</td> <td>1-16の3 工室の床面</td> </tr> <tr> <td>撮影日</td> <td></td> </tr> <tr> <td>状況</td> <td></td> </tr> <tr> <td>撮影者</td> <td></td> </tr> <tr> <td>メモ</td> <td>1-16の3 工室の床面 (落下による爆発・発火対策)</td> </tr> </table>	No	1-16の3 工室の床面	撮影日		状況		撮影者		メモ	1-16の3 工室の床面 (落下による爆発・発火対策)
No	1-16の3 工室の床面										
撮影日											
状況											
撮影者											
メモ	1-16の3 工室の床面 (落下による爆発・発火対策)										
	<table border="1"> <tr> <td>No</td> <td>1-22 照明設備の防爆装置</td> </tr> <tr> <td>撮影日</td> <td></td> </tr> <tr> <td>状況</td> <td></td> </tr> <tr> <td>撮影者</td> <td></td> </tr> <tr> <td>メモ</td> <td>1-22 工室・火薬類一時置場の 照明設備の防爆装置 (漏電、可燃ガス、粉塵防止)</td> </tr> </table>	No	1-22 照明設備の防爆装置	撮影日		状況		撮影者		メモ	1-22 工室・火薬類一時置場の 照明設備の防爆装置 (漏電、可燃ガス、粉塵防止)
No	1-22 照明設備の防爆装置										
撮影日											
状況											
撮影者											
メモ	1-22 工室・火薬類一時置場の 照明設備の防爆装置 (漏電、可燃ガス、粉塵防止)										
	<table border="1"> <tr> <td>No</td> <td>1-22 照明設備の防爆装置</td> </tr> <tr> <td>撮影日</td> <td></td> </tr> <tr> <td>状況</td> <td></td> </tr> <tr> <td>撮影者</td> <td></td> </tr> <tr> <td>メモ</td> <td>1-22 工室・火薬類一時置場の 照明設備の防爆装置 (漏電、可燃ガス、粉塵防止)</td> </tr> </table>	No	1-22 照明設備の防爆装置	撮影日		状況		撮影者		メモ	1-22 工室・火薬類一時置場の 照明設備の防爆装置 (漏電、可燃ガス、粉塵防止)
No	1-22 照明設備の防爆装置										
撮影日											
状況											
撮影者											
メモ	1-22 工室・火薬類一時置場の 照明設備の防爆装置 (漏電、可燃ガス、粉塵防止)										

図 3.2-114Pinspect レポート出力結果 (抜粋)

(2) 評価および分析

(ア) 精度

現在使用されている紙ベースの点検箇所を Pinspect の AR 空間上にデジタル付箋（ピン）を配置することで、点検箇所を誤ることなく確認することができるようになる。さらに作成した点検項目に過去の点検内容、写真等を参照用資料として添付することができ、点検誤りの防止につながる。



(イ) 安全性

AR（拡張現実）を使用して点検箇所を確認する場合、iPad の画面を注視して移動することになるため足を踏み外す等の危険性が高まるが、Pinspect の機能として、平均的な歩行速度（時速 2～4km 程度）で移動すると、画面変化（全体ブラック表示）し、周囲を目視することを促す注意書きが表示されるため、危険性が低下する。画面の切り替わり状況を図 3.2-115 移動感知による画面変化に示す。

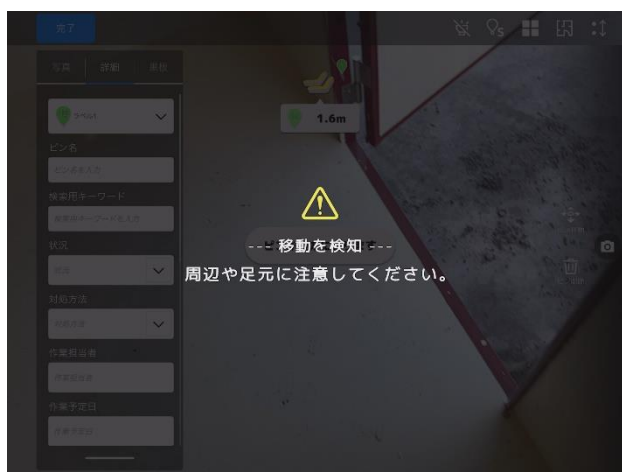


図 3.2-115 移動感知による画面変化

(ウ) 信頼性

点検内容および撮影画像は、Pinspect 使用中にリアルタイムでのデータ送受信は行わず、点検終了後に事務所等の安定した Wi-Fi 環境下において送受信を行うことで、データ破損等のリスク低減となる。また、通信中のデータは暗号化されることで改ざん・漏洩についても対策が行われている。

(エ) 工数

紙ベースの点検（写真はデジタルカメラで撮影後、資料に添付を想定）と比べ、iPad 上で点検箇所（日付、点検内容、記事等）と撮影データが一つのアプリ上で管理されるため、資料作成時間、撮影データの添付等の処理時間が削減される。印刷保管が必要な場合はレポート出力機能により、編集等の時間を掛けることなく出力が可能となる。また、サーバー上にデータが管理されるため、ファイリングの時間も削減される。

(オ) コスト

データは Pinspect 用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。

3.2.5.2 点検リストと点検記録作成 (Pinspect Check+)

(1) 結果

火薬類取締法施行規則第 44 条および第 44 条の 5 に係る、別表第一から別表第四の目視、測定による検査部分を撮影（撮影時に日付、撮影内容、記事等の入力も可能）を実施 Pinspect Check+を用いて実施した点検内容について、レポート出力した結果を図 3.2-116 から図 3.2-123 に掲載する。（代表例として火薬類製造施設の危険工室（屋内）の一部抜粋）

火薬メーカー			
危険工室 (完成検査)			
担当未定			
作業日時			
	開始日	完了日	
予定	2023-12-18	2023-12-24	
実績	2023-12-22	2024-02-20	
作成・承認			
	部署	氏名	日時
作成者	株式会社ミラテクドローン	山脇 隆治	2023-12-20
計画承認	株式会社ミラテクドローン	山脇 隆治	2023-12-20 23:00
基本情報			
作業内容	完成時検査		
作業目的	なし		
対象機器	火薬保管庫		
危険のポイント	なし		
特記事項	なし		
シナリオタグ	なし		
備考1	なし		
備考2	なし		

図 3.2-116 Pinspect Check+レポート（抜粋）

作業実績

N0.1 工室間の防火壁の設置

発火の危険のある工室と他の施設との間への防火壁の設置その他の延焼を遮断するための措置の状況を、目視及び図面により検査する。

作業日時

	作業人数(人)	開始時間	終了時間	時間(分)
予定	1	2023-12-22 10:04	2023-12-22 10:34	00:30
実績	1	2023-12-22 10:04	2023-12-22 10:05	00:01

作業者

村上 知靖

承認

	部署	氏名	日時
作業実績承認	なし	なし	

作業記録

No	手順内容	記録結果・メモ	写真(枚)	作業時間
1	発火の危険のある工室と他の施設との間に防火壁の設置その他の延焼を遮断するための措置を講ずること。	<input checked="" type="checkbox"/> 防火壁ではない	1	2023-12-22 10:05

作業写真



No.1

N0.2 土堤・防爆壁の構造（及び測定）

煙火等の製造所にあつては、爆発の危険のある工室又は火薬類一時置場には、土堤、簡易土堤又は防爆壁を設けること。

図 3.2-117 Pinspect Check+レポート（抜粋）

作業日時

	作業人数(人)	開始時間	終了時間	時間(分)
予定	1	2023-12-22 10:06	2023-12-22 10:36	00:30
実績	1	2023-12-22 10:06	2023-12-22 11:20	01:14

作業者

村上 知靖

承認

	部署	氏名	日時
作業実績承認	なし	なし	

作業記録

No	手順内容	記録結果・メモ	写真 (枚)	作業時間
1	内面の堤脚から火薬庫の外壁までの距離を、巻尺その他の測定器具を用いた測定により検査する。ただし、	<input checked="" type="checkbox"/> 4.7	2	2023-12-22 11:11
2	切通の出入口を通して火薬庫の本屋を見ることができない構造となっていることを、目視により検査する。	<input checked="" type="checkbox"/> 該当せず	1	2023-12-22 11:13
3	トンネルの出入口を通して火薬庫の外壁を見ることができない構造となっていることを、目視により検査する。	<input checked="" type="checkbox"/>	1	2023-12-22 11:13
4	土堤のこう配及び高さを、巻尺その他の測定器具を用いた測定により検査する。	<input checked="" type="checkbox"/> 21.2	2	2023-12-22 11:15
5	土堤のこう配及び高さを、巻尺その他の測定器具を用いた測定により検査する。	<input checked="" type="checkbox"/> 5	1	2023-12-22 11:17
6	堤脚を土留とする土堤の内面の材料を記録により検査し、及び土留の高さを、巻尺その他の測定器具を用いた測定により検査する。	<input checked="" type="checkbox"/> 土	0	2023-12-22 11:17
7	堤脚を土留とする土堤の内面の材料を記録により検査し、及び土留の高さを、巻尺その他の測定器具を用いた測定により検査する。	<input checked="" type="checkbox"/> 4	0	2023-12-22 11:17
8	土堤を兼用するときの通路の有無を目視により検査する。	<input checked="" type="checkbox"/>	1	2023-12-22 11:18

図 3.2-118Pinspect Check+レポート (抜粋)

9	土堤の堤面の被覆の状況を目視により検査する。	<input checked="" type="checkbox"/>	1	2023-12-22 11:19
10	土堤の土留並びに当該土留の側壁板及び支柱の材質を、目視又は図面により検査する。	<input checked="" type="checkbox"/>	1	2023-12-22 11:19
11	土堤の頂部の雨水の浸入を防ぐ構造を、目視及び図面により検査する。	<input checked="" type="checkbox"/> 本実証では土堤に登らず	1	2023-12-22 11:20

作業写真



No. 1



No. 1



No. 2



No. 3



No. 4



No. 4



No. 5



No. 8



No. 9



No. 10



No. 11

図 3.2-119Pinspect Check+レポート (抜粋)

No	手順内容	記録結果・メモ	写真 (枚)	作業時間
1	・多くの窓、出口を設けること	<input checked="" type="checkbox"/> 数量 2	3	2023-12-22 10:18
2	・扉は外開きとする	<input checked="" type="checkbox"/> 数量 2	4	2023-12-22 10:20
3	・窓は外開きとする	<input checked="" type="checkbox"/>	4	2023-12-22 10:23

作業写真



No. 1



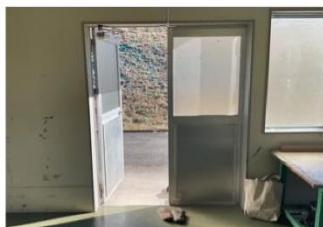
No. 1



No. 1



No. 2



No. 2



No. 2



No. 2



No. 3



No. 3



No. 3



No. 3

図 3.2-120Pinspect Check+レポート (抜粋)



No. 1



No. 1

N0.14 工室の暖房装置の爆発・防火措置

危険工室内に暖房設備を設ける場合は、火薬類の爆発又は発火を防止するための措置を講ずるとともに、燃焼しやすい物と隔離すること。

作業日時

	作業人数(人)	開始時間	終了時間	時間(分)
予定	1			
実績				

作業者

承認

	部署	氏名	日時
作業実績承認	なし	なし	

作業記録

No	手順内容	記録結果・メモ	写真(枚)	作業時間
1	次のいずれかの基準によるものとする。	<input type="checkbox"/>	0	
2	1. 危険工室内と完全に隔離した熱源で加熱された熱水又は水蒸気による放熱体を危険工室内に設置する。	<input type="checkbox"/>	0	
3	2. 危険工室内と完全に隔離した熱源で加熱された熱風を送り込む。吹き出し口の温度は摂氏50度以下、前面に不燃性板等を設置	<input type="checkbox"/>	0	
4	3. 火薬又は爆薬の飛散のおそれがない危険工室の場合はエアコンを設置することができる。室内機の電気配線は危険工室内に表さない	<input type="checkbox"/>	0	

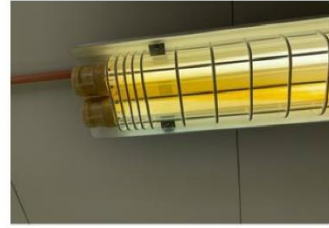
図 3.2-121Pinspect Check+レポート (抜粋)



No. 2



No. 3



No. 3



No. 3



No. 3

NO. 16 数量の掲示の状況、記載事項

作業日時

	作業人数(人)	開始時間	終了時間	時間(分)
予定	1	2023-12-22 10:59	2023-12-22 11:29	00:30
実績	1	2023-12-22 10:59	2023-12-22 11:01	00:02

作業者

村上 知靖

承認

	部署	氏名	日時
作業実績承認	なし	なし	

作業記録

No	手順内容	記録結果・メモ	写真(枚)	作業時間
1	危険工室等には、内部又は外部の見やすい場所に、火薬類の種類及び停滞量、	<input checked="" type="checkbox"/> 写真の通り	1	2023-12-22 11:00
2	危険工室等には、内部又は外部の見やすい場所に、火薬類の種類及び停滞量、	<input checked="" type="checkbox"/> 0	0	2023-12-22 11:01
3	同時に存置することができる火薬類の原料の種類及び最大数量、定員、注意事項その他必要な事項を掲示すること。	<input checked="" type="checkbox"/>	2	2023-12-22 11:00

図 3.2-122Pinspect Check+レポート (抜粋)

作業写真



No. 1



No. 3



No. 3

NO.17 木造建築物の耐火措置

作業日時

	作業人数(人)	開始時間	終了時間	時間(分)
予定	1	2023-12-22 10:40	2023-12-22 11:10	00:30
実績	1	2023-12-22 10:40	2023-12-22 10:42	00:02

作業者

村上 知靖

承認

	部署	氏名	日時
作業実績承認	なし	なし	

作業記録

No	手順内容	記録結果・メモ	写真(枚)	作業時間
1	木板露出箇所は防火塗料塗布	<input checked="" type="checkbox"/> 本実証では確認できず	0	2023-12-22 10:42
2	木板露出箇所は金属板等の不燃性物質で覆う	<input checked="" type="checkbox"/>	3	2023-12-22 10:42
3	危険工室との間に防火壁設置	<input checked="" type="checkbox"/>	2	2023-12-22 10:41

作業写真

図 3.2-123Pinspect Check+レポート (抜粋)

(2) 評価および分析

(ア) 精度

現在使用されている紙ベースの点検内容を Pinspect Check+上に複製する形で作成することで、現在の点検内容と同等の点検が実施可能となる。さらに作成した点検項目に過去の点検内容、写真等を参照用資料として添付することができ、点検誤りの防止につながる。点検内容は Web からいつでも確認でき、管理者による進捗管理、承認行為をワークフローに沿って実施し、承認完了後の報告書（PDF 出力）をワンクリックで実施することが可能である。

(イ) 安全性

Pinspect の場合、iPad の画面（AR 空間のピン）を見ながら移動することになり周囲の空間への注意が疎かとなり、段差に躓く等の危険性があるが、Pinspect Check+は画面を見ながら移動する必要はなく、足元を確認しながら移動できるため、歩行時の危険性は低いと考えられる。

(ウ) 信頼性

点検内容および撮影画像は、Pinspect Check+使用中にリアルタイムでのデータ送受信は行わず、点検終了後に事務所等の安定した Wi-Fi 環境下において送受信を行うことで、データ破損等のリスク低減となる。また通信中のデータは暗号化されることで改ざん・漏洩についても対策が行われている。

(エ) 工数

紙ベースの点検（写真はデジタルカメラで撮影後、資料に添付を想定）と比べ、iPad 上で点検箇所（日付、点検内容、記事等）と撮影データが一つのアプリ上で管理されるため、資料作成時間、撮影データの添付等の処理時間が削減される。印刷保管が必要な場合はレポート出力機能により、編集等の時間を掛けることなく出力が可能となる。またサーバー上にデータが管理されるため、紙ベースの印刷、ファイリングの時間も削減される。

(オ) コスト

データは Pinspect Check+用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。

用語集

用語	定義・解説
Yolov8	YOLOv8 は、2023 年に発表された、リアルタイム物体検出器 YOLO (You Only Look Once) シリーズの最新版であり、検出精度と速度の面で最先端の性能を提供するリアルタイム物体検出器である。
SAHI	SAHI (Slicing Aided Hyper Inference)は、高解像度の画像に対する物体検出アルゴリズムを最適化するために設計されたライブラリである。 一般的な検出器の場合、物体検出器に高解像度の画像を入力したとしても、検出器指定サイズへ入力画像がリサイズされてしまうが、このリサイズ処理時に入力画像内の小さいサイズのオブジェクトがつぶれてしまう問題が発生する。 SAHI では、この問題を解決するために、入力画像を複数のスライスに分割し、各スライスに対して物体検出を実行することで、画像内の小さいサイズのオブジェクトも検出可能としている。
Yolov5	YOLOv5 は、2020 年に発表された、リアルタイム物体検出器 YOLO シリーズの第 5 版であり、実装の利便性から現時点で広く利用されているリアルタイム物体検出器である。
Yolov3	YOLOv3 は、2018 年に発表された、リアルタイム物体検出器 YOLO シリーズの第 3 版であり、長年使用されてきたリアルタイム物体検出器である。