

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 3 :

ドローン、3D 点群データ等を活用した構造物等の検査の実証

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）	3
1.2.1	従来手法（現状業務）	3
1.3	全体像	3
1.4	実施体制・期間	6
1.4.1	アドバイザー	6
1.4.2	実施体制図	6
1.4.3	実施期間	7
2	技術実証内容の詳細	8
2.1	技術実証の方法	8
2.1.1	実証を安全かつ成果を正確に評価するために必要な資格等	8
2.1.2	ドローン機材性能評価（実施項目①）の詳細	9
2.1.3	電波環境調査（実施項目②）の詳細	14
2.1.4	3Dデータ作成（実施項目③）の詳細	25
2.1.5	AI解析（実施項目④）の詳細	28
3	技術実証の結果	49
3.1	結果の 評価ポイント・方法	49
3.1.1	ドローン機材性能評価（実施項目①） 結果の評価の観点、ポイント及び評価方法	49
3.1.2	電波環境調査（実施項目②） 結果の評価の観点、ポイント及び評価方法	59
3.1.3	3Dデータ作成（実施項目③） 結果の評価の観点、ポイント及び評価方法	60
3.1.4	AI解析（実施項目④） 結果の評価の観点、ポイント及び評価方法	62
3.2	結果及び評価・分析	73
3.2.1	ドローン機材性能評価（実施項目①）	73
3.2.2	電波環境調査（実施項目②）	138
3.2.3	3Dデータ作成（実施項目③）	192
3.2.4	AI解析（実施項目④）	223
3.2.5	各実証の総括	297
	【参考文献】	305
	添付資料	306

1 技術実証の概要

1.1 目的

建築基準法第 12 条における特定建築物等の定期調査・点検において、ドローンによる赤外線調査が可能と示されているなか、今後ドローンを用いた建築物の定期調査・点検が盛んに普及すると考えられる。

本実証は、ドローンで建築物調査を実施するうえで必要な機体性能や電波環境に着目し、技術の導入に必要な条件等を把握することが目的である。また、取得したデータを用いた 3D データ化や AI による自動診断の可能性について実証した。併せて都心部で普及させるために必要な安全設備で、フライアウェイ（用語集参照）を防止する、「ラインドローンシステム」（用語集参照）を利用し、ドローンの係留装置の有用性も確認した。

1.2 対象業務（法令）

建築基準法第 12 条第 1 項・第 2 項、第 88 条第 1 項、建築基準法施行規則第 5 条第 2 項、第 5 条の 2 第 1 項、第 6 条の 2 の 2 第 2 項に基づく特定建築物等の定期調査・点検

1.2.1 従来手法（現状業務）

現在、建築物調査における外壁調査では、タイルの浮きの状況を確認するためにロープアクセスや、ゴンドラ、足場などを利用した打診点検（図 1 打診点検の状況）、目視点検が行われる。この従来の手法である打診点検、目視点検の一部をドローンで撮影した画像での点検に置き換えるための各実証を進める。



図 1 打診点検の状況

1.3 全体像

本実証では、高層ビル、超高層ビルにおける、有資格者・有スキル者の目視点検（ロープアクセス、ゴンドラ等の人手による高所作業）による転落の危険を回避するため、安全性を担保したうえでのドローン活用の手法等を把握するため各実証を行った。

ドローンを用いて建築物の外壁調査を実施する上で必要となる「ドローン機材性能評価」及びドローンを安全に飛行させるための「電波環境調査」を実建物により実証した。また、実建物の外壁画像データを活用した「3D データ作成」及び外壁の劣化状態を把握するための

「AI 解析」も実施した。

これらを、本書では以下の4つの実施項目として整理している。全体像を図 2 全体概要図に示す。また各項目の目標を各項目の説明文とともに示す。

- ① ドローン機材性能評価
- ② 電波環境調査
- ③ 3D データ作成
- ④ AI 解析

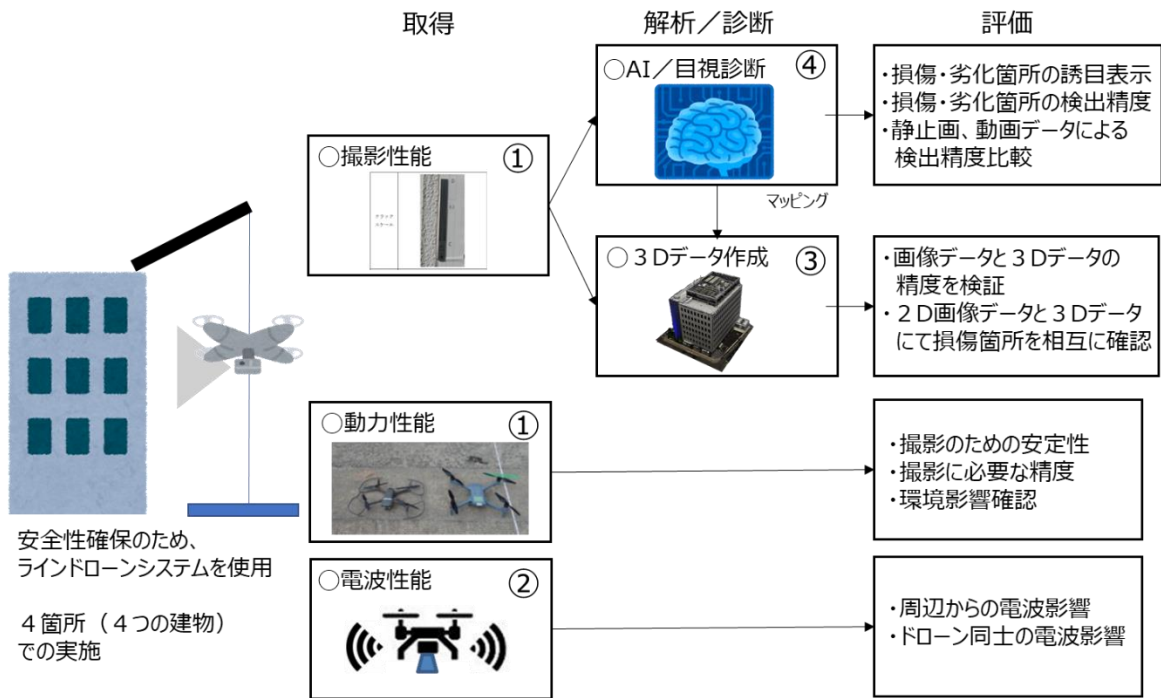


図 2 全体概要図

各実施項目における実施内容の説明を以下に示す。

① ドローン機材性能評価

建築物の外壁調査に必要となるドローン等の性能を確認するため、市販されているドローンの性能及び係留方法を比較評価する。評価は、基本性能のほか、点検対象とする建物の劣化・損傷状態をドローンにより撮影して取得した画像データを比較することにより行う。

【目標】 建築物の外壁調査においてデジタル化を図る際、カメラの性能は製品仕様により担保されるが、ドローンの性能及び係留されたドローンの性能は、使用条件や環境条件に応じて、使用方法、精度、安全性が変わるため、製品仕様だけでは、どの機体を使用することが有効なのかわからないといった課題がある。そこで、今回、係留の有無、係留方法を種々のドローンと組み合わせ、その性能の比較及び必要となる使用条件や環境条件を整理することで、これらを閾値として明らかにし、建築物の外壁調査におけるドローンのさらなる活用可能性を示す。

② 電波環境調査

ドローン運用時における、建築物周辺の電波環境調査を実施する。建築物の外壁調査時を想定し、地上から屋上までの電波測定を実施する。ドローンの利用する周波数帯を人工的に発生させドローン機体に及ぼす電波干渉の影響も測定する。

【目標】 スマートフォン等の通信機器に使用する Wi-Fi を含む 2.4GHz 帯の電波が多数の通信機器で使用されている。この電波帯はドローンの操作及び機体と送信機間の映像の伝送にも使用されており、現時点でこの通信環境を事前調査により把握することが「ガイドライン¹※」で示されている。通信環境の事前調査の実施により従来手法による点検作業の実コストからの低減につながらない可能性がある。しかし、本実証において電波特性を検証し把握することは、特に市街地やビル群のように様々な影響によりドローンの電波特性を理解せずに現地作業を行なった場合における手戻り、事故などに対する対応稼働及び工数増加を削減できることから、ドローンや AI を活用することで大幅なコスト減になると考える。

そのため、本実施項目では、ドローンによる外壁調査の際に電波環境調査を行うことの実効性ととも、その調査手法の具体化を図る。併せて、事前に建築物周辺の電波環境を調査し、ドローンの稼働性を把握することで、生産性向上を図る。

③ 3D データ作成

有資格者（1, 2 級建築士、特定建築物調査員）の双眼鏡やカメラなども用いた地上からの目視による点検作業を、リモートからの点検作業に置き換えることを想定して、ドローンにより取得可能な 3D 点群と画像データを活用し、点検対象の構造や配置、損傷

¹ 「定期報告制度における赤外線調査（無人航空機による赤外線調査）」（赤外線装置を搭載したドローン等による外壁調査手法に係る体制整備検討委員会、R4.3）

や劣化状態等を 3D データ化する。建築当初の図面・CAD データなどの図面等から 3D データを作成し、その後ドローン搭載カメラによる撮影データをオルソ画像化し、3D データへの貼り付けを行う。また、ドローン搭載の LiDAR センサにて点群データを取得し、3D データの作成も行う。本データより建築構造物の点検・調査が可能かどうかの確認をする。

【目標】 ドローンで取得可能な画像データ、3D 点群データより 3D データが作成出来る。これらの技術を活用し、有資格者による目視点検などの従来の手法による点検の代替、省力化、効率化を実証する。

④ AI 解析

有資格者（1,2 級建築士、特定建築物調査員）の双眼鏡やカメラなども用いた地上からの目視による点検作業から、ドローンで撮影した画像による点検作業への置き換えた場合、単純に撮影距離が近づくだけでなく、正面から見た（正対した）画像が取得可能なことで凹凸のある面であっても確認可能となるなど、目視確認の精度向上が期待でき、また、地上からの目視が困難な上層階や高層ビルの点検においては、点検作業者の安全性の確保の観点からも有効と考えられる。ただし、ドローンで大量に撮影された高解像度の画像をくまなく確認する作業の負担が大きくなることが懸念される。このため、様々な分野で活用されている AI 技術を建築物の点検作業にも応用し、AI 解析により人力での点検作業をいかに自動化・代替・省力化できるかを検証する。

【目標】 現場での AI 解析手順を想定して、最適な学習アルゴリズムを導き出すためのシミュレーションを中心とする「基本実証」で AI 解析の精度を評価し、様々な撮影バリエーションに応じた「比較実証」（動画撮影、ズーム撮影、異なる離隔距離での撮影、傾き撮影、タイル素材以外への適用確認）でドローンによる撮影の効率化や AI 解析の適用可能範囲の検証を行う。そのうえで、従来の目視点検作業と比較しての省力性の検証も行う。

1.4 実施体制・期間

1.4.1 アドバイザー

国立研究開発法人建築研究所 材料研究グループ上席研究員 宮内 博之 氏

1.4.2 実施体制図

実施体制は、ミラテドローンを責任者として、再委託先と連携を図り、以下のツリー図に示す実施体制により実施した。

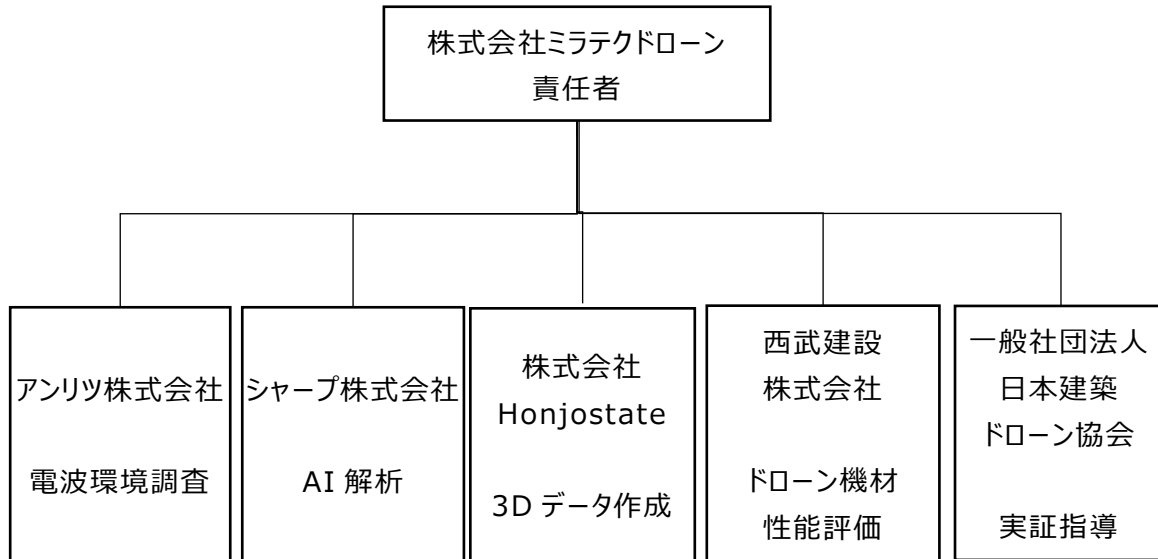


図 3 実施体制

表 1 関係事業者と役割

事業者名	実施業務・役割
株式会社ミラテクドローン	全般管理、ドローンの操作・撮影等
西武建設株式会社	①ドローン機材性能評価
アンリツ株式会社	②電波環境調査
株式会社 Honjostate	③3D データ作成
シャープ株式会社	④AI 解析
一般社団法人日本建築ドローン協会	全般実証指導

1.4.3 実施期間

2023 年 10 月 17 日 ~ 2024 年 2 月 29 日 (136 日間)

2 技術実証内容の詳細

実建物により実証する「ドローン機材性能評価」（実施項目①）及び「電波環境調査」（実施項目②）、実建物の外壁データを活用する「3D データ作成」（実施項目③）、外壁の劣化状態を把握する「AI 解析」（実施項目④）について、具体的に何を実証するのかを以下に記載する。

2.1 技術実証の方法

2.1.1 実証を安全かつ成果を正確に評価するために必要な資格等

本実証では、実証を安全に遂行するとともに、実証の成果を正確に評価するため、必要な資格を確認し、実証の現地作業時には有資格者を配置した。必要な技量と知識、必要資格の確認結果を以下に示す。

表 2 実証に必要な技量と知識と資格

No.	必要な技量と知識	資格等名称	発行元／制度
1	建築物の点検に対する知識	特定建築物調査員	日本建築防災協会
2	建築ドローンに関する総合的な知識	建築ドローン飛行管理責任者	日本建築ドローン協会
3	ドローンの操作に関する技量と知識	二等(以上) 無人航空機操縦士	無人航空機操縦者技能証明
4	建築物の点検に必要なドローンの操作に関する技量と知識	ドローン建築物安全飛行技能者コース修了者	日本 UAS 産業振興協議会 /日本建築ドローン協会

2.1.2 ドローン機材性能評価（実施項目①）の詳細

(1) 確立する技術・手法について

本実施項目の目的は、デジタル技術活用のためのドローンの性能及び係留を使用した際の環境条件を比較し、建築物の外壁調査における技術の確立に必要な機材の性能を把握することにある。その比較する手法は、各種機材の性能比較及び得られた数値、及び撮影画像のデータを比較する方法で実施することとした。

(2) 確認方法

本実施項目を具体的に検証するにあたっては、市販している複数のドローンの仕様や性能を確認し比較した。比較する項目としては、機体の基礎性能のほか、飛行性能（ホバリング時の安定性や撮影時に要求される移動・静止を繰り返す動作の安定性等）などとし、実証等を実施することで比較した。同時に環境（飛行時の光量や風量など）による影響も把握するため、環境の比較的良好な昼間と比較的風が強い夕刻の 2 パターンを検証した。表 3 評価の内容と数量に比較項目・条件及び数量等を示す。

表 3 評価の内容と数量

内容	項目・条件の詳細
機体の種類	中国、日本、アメリカの 3 か国の製品 6 種類 (参考として + 1 種類)
実証場所	4 か所 ・市川 1 か所(野外) ・熊谷 3 か所(室内、疑似屋内としているドローンコート、野外)
係留(用語集を参照)	3 種類 ・係留無し、1 点係留、2 点係留
実証時期	昼間及び夕刻（※） ※昼間と夕刻の定義として、気象庁より、昼間は、日の出から日没とし、夕刻は、15 時頃から 18 時頃までとする。

実証の項目と実証の回数は、以下の表 4 実証項目と実証回数に示す内容とする。実証内容の詳細な方法については、3.1.1 ドローン機材性能評価 結果の評価の観点、ポイント及び評価方法に示す。係留方法については、いくつかの種類があり、本実施項目では、「係留なし」、「1 点係留」、「2 点係留」の 3 種類を使用した。状況に応じて使用する係留方法が異なる。係留方法の具体的な説明は、「(6)係留方法の比較(ア)係留方法の選定」に記載する。実証の回数については、計測値の平均が必要な場合、3 回以上とした。

また、操作感を確認するために、操作者へのアンケートも実施した。具体的には、各実証でドローンを操作した操作者と、ドローンの動きやドローン搭載のカメラ映像を確認する建築ドローン飛行管理責任者に確認した。

表 4 実証項目と実証回数

項目	具体的な項目	回数・方法
撮影のための安定性	ホバリング性能	各機体 5 回
	急制動実証	各機体 3 回
	操作性	各操作者への確認
撮影に必要な精度	可視画像撮影	各機体(3 か所各 1 面) 係留なし、1 点係留、 2 点係留使用
	係留方法の比較	係留なし、1 点係留、2 点 係留を比較
環境影響確認 (信頼性)	可視画像撮影	3 か所各 1 面それぞれ正午、 夕刻

(3) 機体の比較

本実施項目の比較に使用する機体は、表 6 比較機体一覧に示す機体とした。機体の比較方法は、機体のサイズ、重量等の基礎数値とホバリング性能、急制動性能の各種比較、ドローンの操作性等を比較した。係留の比較方法は、1 点係留を使用、2 点係留装置を使用、及び係留なしと比較した。

これにより本実施項目における基礎的データの収集をした。表 5 実証項目と実証回数に実証項目と使用した係留方法を示す。表内の○は、実証項目で使用した係留方法を示している。

表 5 実証項目と実証回数

項目名称	係留方法		昼間・夕刻の影響確認	備考	
	なし	あり			
		1 点			2 点
ホバリング性能	○	○	○	機体に応じて係留が適用できない場合、なしを選択、2 点係留に関しては、表 6 の機体番号 B と D のみとした。	
急制動検証		○			
操作性				(操作者への確認による)	
可視画像撮影 (精度)	○	○	○		
係留方法の比較	○	○	○		
可視画像撮影 (環境影響)	○※	○	○	対象 係留が適用できない場合は、室内で疑似的な環境分けをした。	

(4) 機体の選定条件

機体の選定の条件は、カメラを搭載でき、外壁調査をすることが可能なものとした。また、生産国にバイアスがかからないように中国、日本、アメリカの3か国の機体サイズの異なる製品とした。

(5) 比較機体

飛行性能を比較するために使用する機体を表6に示す。使用した機体を図4に示す。
A～Gは、ドローン機体本体、C'、E'は、ドローン機体に搭載されるカメラを指す。



図4 使用した機体

表 6 比較機体一覧

No.	A	B	C	D	E	F	G (参考)	C' (Cに搭載するカメラ)	E' (Eに搭載するカメラ)
生産国	中国			日本		米国		中国	日本
対角寸法(mm)	350	380.1	895	472.2	644.6	397	353	(寸法)167×135×161	(寸法)約128.9 x 96.4 x 77.5
重量(g)	1,375	920	6,300	1,720	3,100	1,127	800	828±5	約665+371
最高飛行速度(m/s)	20	21	23	15	25	20	16	-	-
最大風圧抵抗(m/s)	10	12	15	15	20	17	11	-	-
GPS	GPS / GLONASS	GPS + Galileo + BeiDou	GPS+GLONASS+BeiDou+Galileo	GPS+QZSS(準天頂衛星みちびき)+SLAS/SBAS	GPS、GLONASS、QZSS (みちびき)	-	GPS + GLONASS + Visual-SLAM	-	-
最大飛行時間(分)	28	45	55	25	20	40	27	-	-
センサー	1インチ CMOS、有効画素数：2,000万画素	1/2インチ CMOS、有効画素数：48 MP		サイズ：1インチ、有効画素数：20MP		サイズ：1/2" CMOS、有効画素数：48MP	サイズ：1/2.3 CMOS、有効画素数：12MP	サイズ：1/2.3インチ CMOS、有効画素数：12MP	サイズ：35mmフルサイズ、有効画素数：6100万画素
レンズ	視野角：84° 35 mm判換算：24 mm 絞り：f/2.8～f/11 フォーカス：1 m～∞ (オートフォーカス)	FOV：84° 35 mm判換算：24 mm 絞り：f/2.8 フォーカス：1 m～∞		FOV：H64°、V44°、D73° 35 mm判換算：28mm 絞り：F2.8 - F11		等価焦点距離：25.6 mm 絞り：f / 1.8 焦点距離：0.5mから任意の距離 (オートフォーカスモードの場合)	35 mm判換算：20mm 絞り：f / 2.8	DFOV (対角視野)：82.9° 焦点距離：4.5 mm (判換算：24 mm) 絞り：F2.8 フォーカス：1 m～∞	画角度：29° 開放絞り (F値)：1.8 最小絞り (F値)：22
ISOレンジ	動画：100～3200 (自動)、100～6400 (手動) 静止画：100～3200 (自動)、100～12800 (手動)	100～25600		125～6400		動画：100-6400 写真：100-3200	100～3200	動画：100 - 25600 静止画：100 - 25600	動画：100-32000 静止画：100-32000
静止画サイズ	4096×2160	8000×6000	カメラ未搭載 下記ジンバル対応カメラ Zenmuse XT2 / XT S (日本未発売) / Z30 / H20 / H20T / DJI P1 / DJI L1	JPEG：5448×3632 (20M)、 4752×3168 (15M)、 3888×2592 (10M) DNG：5464×3646 (20M)	カメラ未搭載 下記ジンバル対応カメラ ILCE-7RM5・ILCE-7M4・ ILCE-7RM4A・ILCE-1・ ILME-FX3・ILCE-7C・ ILCE-9M2・ILCE-7SM3・ ILCE-7RM4・ILCE-7RM3・ ILCE-7M3・ILCE-9	8000×6000 (4:3) 7680×4320 (16:9) 4000×3000 (4:3) 3840×2160 (16:9)	4056×3040	4056×3040	Lサイズ：9504 x 6336 (60M) Mサイズ：6240 x 4160 (26M) Sサイズ：4752 x 3168 (15M)
動画サイズ	C4K:4096×2160 24/25/30/48/50/60p @100Mbps 4K:3840×2160 24/25/30/48/50/60p @100Mbps 2.7K:2720×1530 24/25/30p @80Mbps 2.7K:2720×1530 48/50/60p @100Mbps FHD:1920×1080 24/25/30p @60Mbps FHD:1920×1080 48/50/60 @80Mbps FHD:1920×1080 120p @100Mbps HD:1280×720 24/25/30p @30Mbps HD:1280×720 48/50/60p @45Mbps HD:1280×720 120p @80Mbps	4K：3840×2160@30fps フルHD：1920×1080@30fps	※今回搭載カメラは、C'とする	4K (3840×2160) / 30p 2.7K (2704×1520) / 30p、60p FullHD (1920×1080) / 30p、60p、120p HD (1280×720) / 30p、60p nHD (640×360) / 30p、60p、120p、240p	※今回搭載カメラは、E'とする	8K 7680 * 4320 p25 / p24 6K 5760 * 3240 p30 / p25 / p24 4K 3840 * 2160 p60 / p50 / p48 / p30 / p25 / p24 2.7K 2720 * 1528 p120 / p60 / p50 / p48 / p30 / p25 / p24 FHD 1920 * 1080 p120 / p60 / p50 / p48 / p30 / p25 / p24	4K60fps	1920×1080@30fps	3840 x 2160(30p, 100M)
価格	207,680円	779,900円	904,860円	1,953,000円	1,100,000円	239,800円	1,392,600円	1,078,000円	344,800円 + 61,380円
特徴	1インチ20MP CMOSセンサー	全方向デュアルビジョンシステム	最大ペイロード2.7 kg	防塵・防水性有り	SONYカメラを搭載可能なジンバル搭載	360° 障害物の回避	上向き90° のカメラ		上記価格はカメラとレンズ
	5方向障害物検知		最大飛行時間55分	QZSS受信可能			全方位VisualSLAM		
			6方向検知&測位技術	セキュリティ対策			係留の使用は困難		
			保護等級IP45						

(6) 係留方法の比較

(ア) 係留方法の選定

係留方法は、1点、2点、多点係留と分類されている（図5各種係留装置の分類）。

本実施項目では、係留無し、1点係留、2点係留の各方法を使用した。

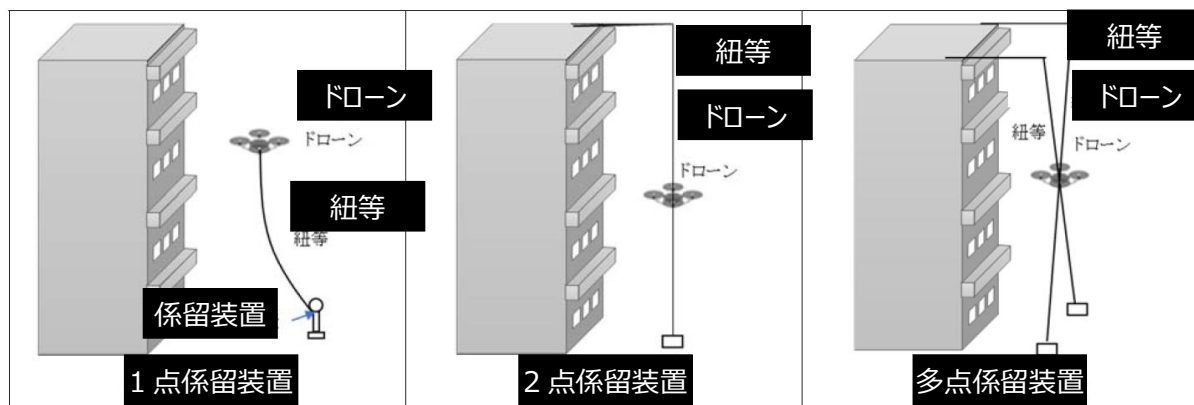


図5 各種係留装置の分類

(イ) 係留装置

本実施項目における係留装置として、1点係留装置に図6ミヤ・リードロン（ミヤマ工製）を、2点係留装置に図7ラインドローンシステム（西武建設製）を選定し、使用した。諸元等は省略する。



図6 ミヤ・リードロン



図7 ラインドローンシステム

実証時に使用した各機材に関しては、「添付資料」に記載。

2.1.3 電波環境調査（実施項目②）の詳細

本実施項目においては、特に 2.4GHz 帯の電波特性を検証することにより、ドローンの電波特性を理解せずに現地作業を実施した場合における、手戻り、事故などによる対応稼働及び工数増加の削減を図る。

併せて、事前に建築物周辺の電波環境を調査し、ドローンの稼働性を把握することで、生産性向上を図る。

(1) 調査範囲と条件

建築物外壁調査時のドローンの飛行する範囲における電波環境調査は、以下とした。

- ・ 地上、屋上に関しては、調査員が直接マルチスペクトラムアナライザを使用し、広域（概ね 500MHz～7.1GHz）にわたる電波強度を調査した。
- ・ 空中に関しては、より高精細・リアルタイムの電波干渉状況をみるため、調査員が直接マルチスペクトラムアナライザを使用できるよう高所作業車での上空の電波測定を実施した。

表 7 評価の内容と数量

内容	確認方法	実施場所
a. 建物周辺の電波影響調査	<ul style="list-style-type: none"> ・高所作業車を使用し、空中の電波を測定器（マルチスペクトラムアナライザ）にて測定記録。 ・地上部では、ドローンの送信機モニタの電波干渉強度にて確認。 ・ドローン機体の電源 ON と OFF の両環境を計測。 	アンリツ（株） 本社 敷地内
b. ドローン同士の電波影響調査 複数同時稼働による 電波帯域占有による 影響確認	<ul style="list-style-type: none"> ・機体 6 機種 + Wi-Fi 機器を順次稼働し、測定器（マルチスペクトラムアナライザ）にて測定記録。 ・ドローンの送信機モニタの電波干渉強度にて確認。 	アンリツ（株） 本社 敷地内
c. 意図的な与干渉波に対する、電波干渉影響調査	<ul style="list-style-type: none"> ・与干渉波の電波強度レベル記録。 ・機体 6 機種のドローン送信機モニタの電波干渉強度にて確認。 	アンリツ（株） 電波シールドテント内
	<ul style="list-style-type: none"> ・携帯キャリアのアンテナからの電波による干渉影響調査。 	（株）ミライト・ワン 新木場ビル

(2) 確認方法

a) 建物周辺の電波影響調査

本調査では、ドローンが影響を受ける可能性が高い建物周辺からの電波影響を調査する。ドローン及び送信機（プロポ（用語集参照））から送信する電波と、空中の潜在電界の識別はできない可能性を考慮し、機体電源の投入時と切断時の双方における電波を計測・記録し潜在電界を把握した。

地上、屋上に関しては、調査員が直接マルチスペクトラムアナライザを使用し、広域（概ね 500MHz～7.1GHz）にわたる電波強度を調査した。空中に関しては、当初、ドローンと同じ電波域である 2.4GHz 帯付近をドローンに搭載されたハンディ型のスペクトラムアナライザを使用する調査を計画したが、より高精細・リアルタイムの電波干渉状況をみるため、調査員が直接マルチスペクトラムアナライザを使用できるよう高所作業車での上空の電波測定を実施した。

実証場所としては、アンリツ敷地内の建屋（事務、開発などで使用中のオフィス建屋）の壁面近傍を高所作業車上のマルチスペクトラムアナライザにより電波を計測し、具体的な実証の方法は以下のとおりである。

- ① 建屋近傍における Wi-Fi 等の電波を計測（WiFi Analyzer アプリ活用）。
- ② テザリングのスマートフォンと Wi-Fi 接続したノート PC を意図的に建屋内の窓近くに設置。
- ③ 6 ライン計測完了後、高所作業車を 6m 横移動し、2 か所目で 3 ライン計測。
- ④ 壁面からの距離(3m、6m、9m)、高さ(3m、6m、9m)、横方向(6m 間隔で 3 か所)のメッシュポイントで測定を行う。（図 11）
- ⑤ 壁面周辺の電波状況のみを電測し、ドローン搭載時の測定結果と比較する目的で、測定器のみで上記メッシュポイントでの電測を行う。
- ⑥ 図 11 に記した各位置において、次の条件のもと、測定時間中の最大値(dBm)（Maxhold）を測定する。

測定時間：各ポイント 30 秒

高所作業車設置場所：2 か所

測定操作場所：測定操作は、高所作業車上で実施する。

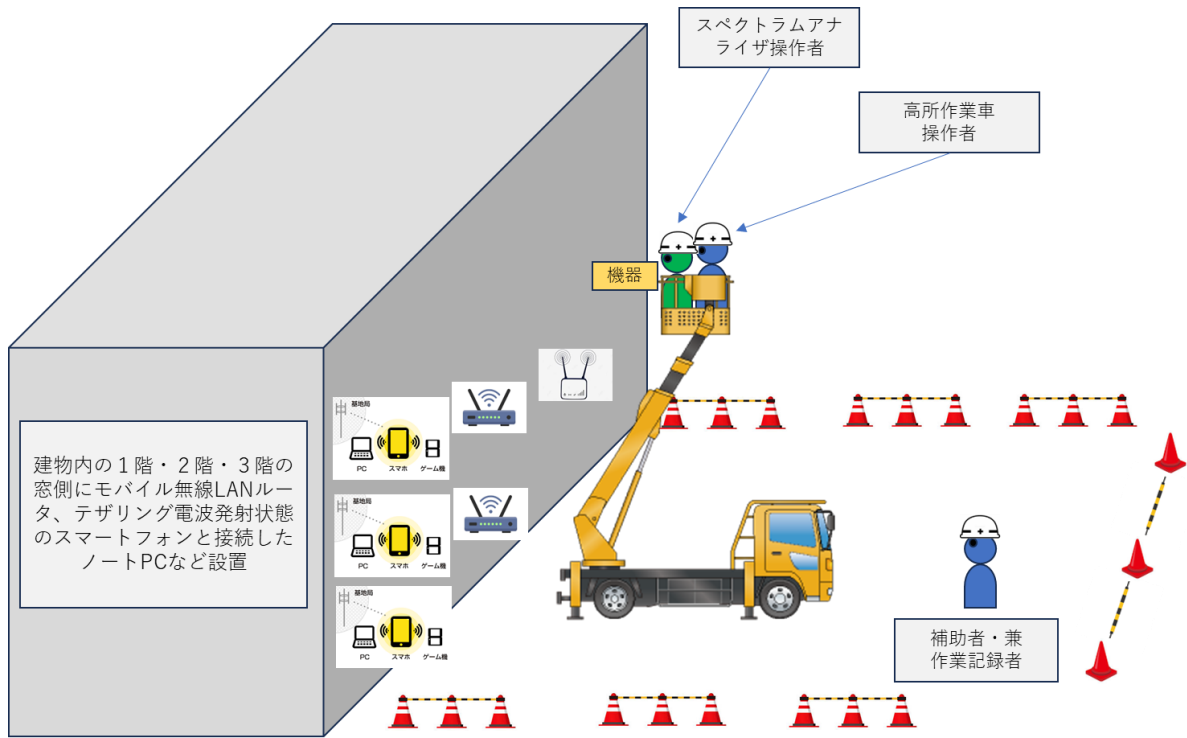


図 8 測定方法イメージ（測定器のみ）

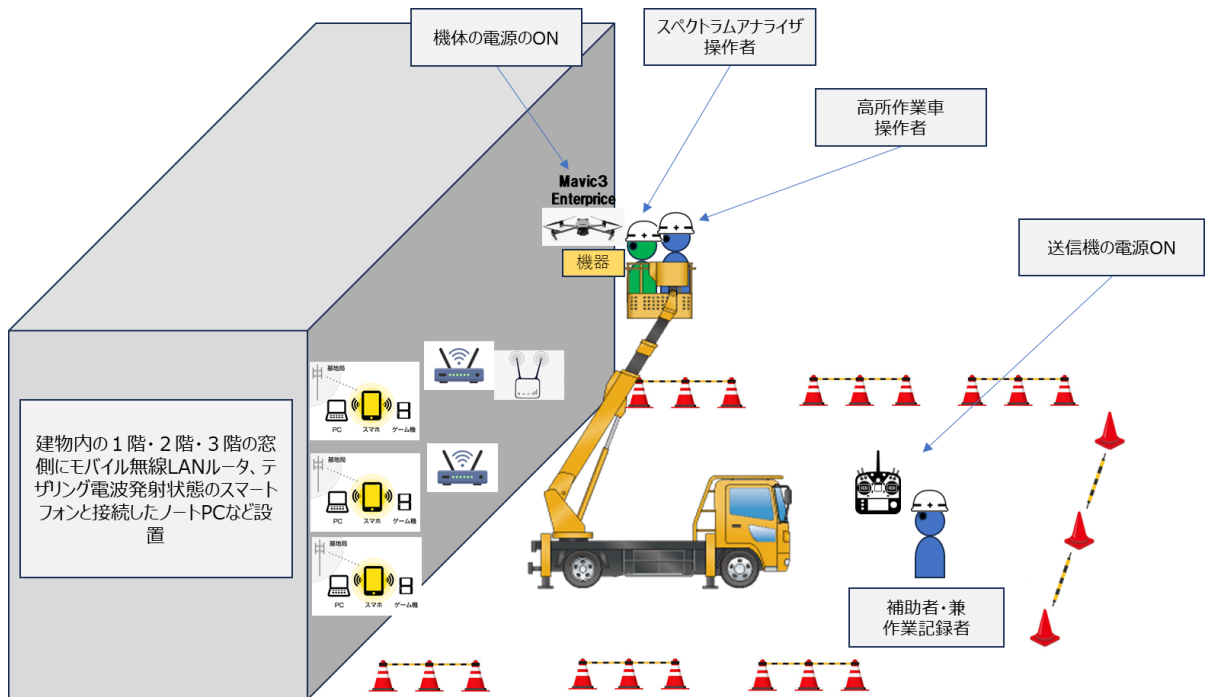


図 9 測定方法イメージ（測定器近傍で機体電源 ON）

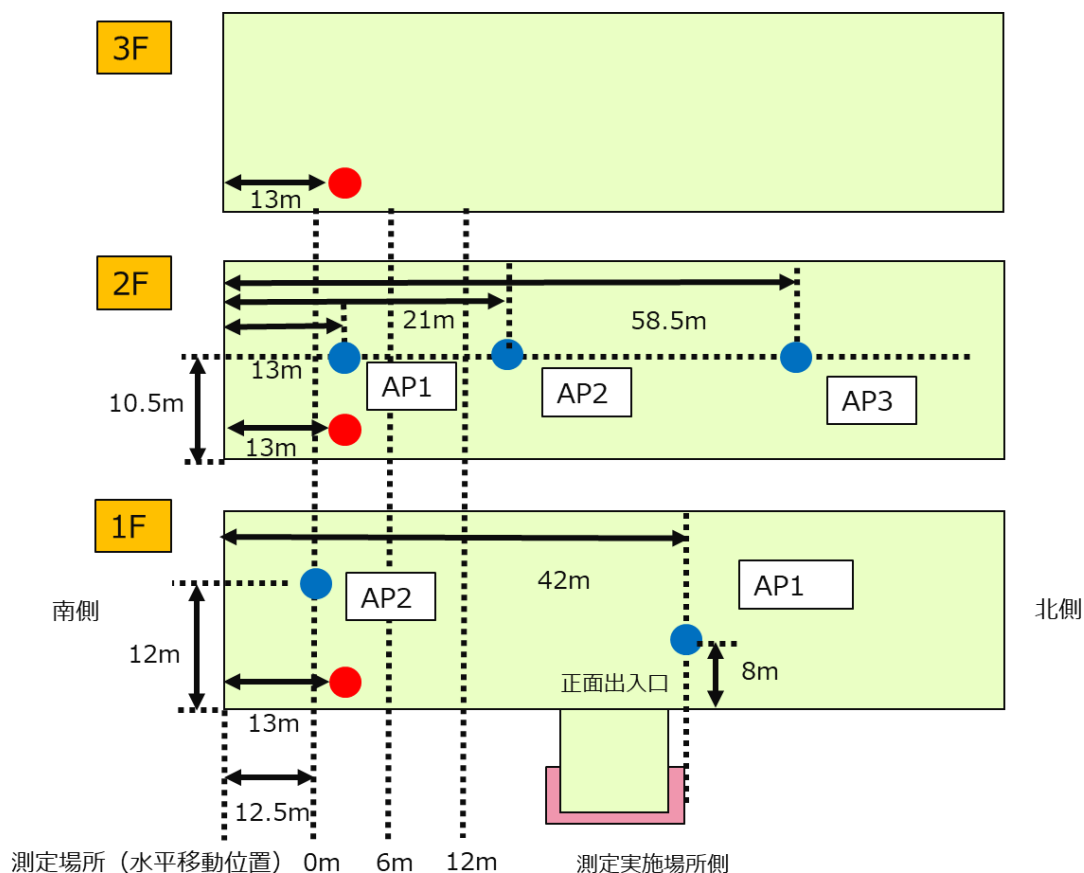


図 10 アンリツ株式会社イノベーション棟 Wi-Fi 環境(2.4GHz 帯) 概要

表 8 アクセスポイントの解説 (1)

青丸	Wi-Fi (2.4GHz 帯) アンリツアクセスポイント 天井設置 (高さ 2.5m)
1F	AP1: CH11 AP2:CH1
2F	AP1: CH1 AP2:CH11 AP3:CH1
3F	AP 無し

AP : Wi-Fi アクセスポイント

表 9 アクセスポイントの解説 (2)

赤丸	Wi-Fi (2.4GHz 帯) テザリング通信中 スマートフォンとノート PC 窓からの離隔 1m (高さ 0.8m)
1F	CH1,CH6 端末 + PC 2 セット
2F	CH1,CH6 端末 + PC 2 セット
3F	CH6 端末 + スマホ 1 セット

- 通信条件 : 1. スマートフォンと Wi-Fi 接続しているノート PC は YouTube 映像 (通信が途切れないように) の再生繰り返し
2. 各階の窓 (芝生側) のブラインドは 2.4GHz 帯の電波がブラインドで減衰しないように全て開けて干渉しやすい状況とした。

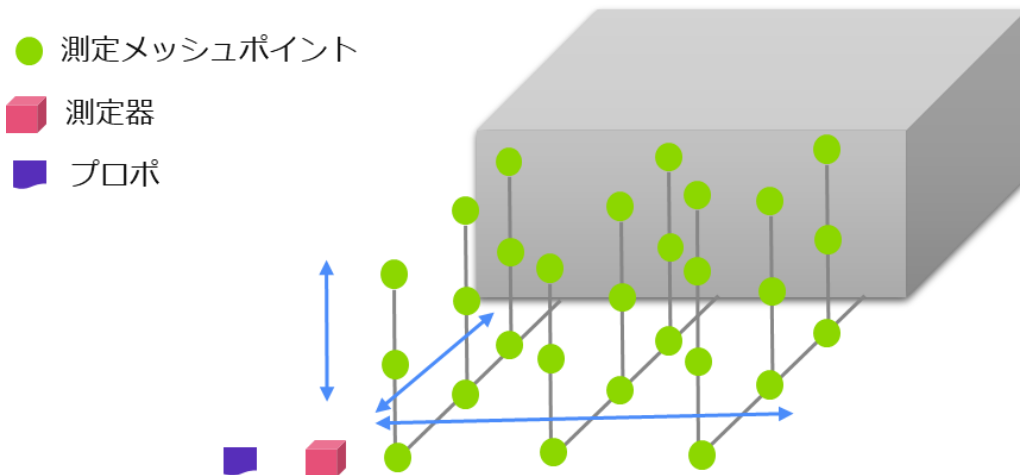


図 11 測定箇所 位置図

b) ドローン同士の電波影響調査、複数同時稼動による電波帯域占有確認

本調査では、建築物外壁調査時に複数機同時に飛行させた場合や、建物内に複数の無線機器がある場合を想定した。電波環境調査は、同時に 6 機までを順次稼動させることにより、それぞれの電波の測定及び機体と送信機間の電波伝送状況、干渉状況等を確認する。

メーカー・機種異なる 6 機の機体と送信機間の通信の確立を順次行い、混雑状況の変化が与える影響を順次記録する。対象機体は表 6 比較機体一覧の A～E 及び G とし、円形離隔距離と水平離隔距離の 2 パターンについて測定した。具体的な実証の方法は以下のとおりである。

- ① 各機体 6 機種を離隔距離 3m の距離を取り、機体を円形に配置する。
- ② ドローンと送信間の無線通信の状況を、指向性アンテナ（一定方向に感度が良いアンテナ）とマルチスペクトラムアナライザにて測定する。測定する電波については、2.4GHz 帯とする。
6 機を 1 台ずつ順番に電源を立ち上げ、マルチスペクトラムアナライザ及び送信機画面での電波干渉状況を確認しながら電波状況を測定し、占有率の高い状態での影響を測定する。
- ③ 周辺環境にて Wi-Fi 接続機材（パソコン、スマートフォン）を接続し、複数機体への電波干渉状況を確認しながら電波状況を測定する。互いへの影響（操作の違和感、送信機制御の応答遅延、操作不能、Wi-Fi 切断）について確認を実施する。
- ④ 上記、円形離隔距離が 3m にて測定が完了すれば、離隔距離を 6m に変え、同様に機体の電源を順番に立ち上げ、測定を実施する。
- ⑤ 次に、各機体 6 機種を離隔距離 3m の距離を取り、機体を水平に配置する。
- ⑥ 6 機を 1 台ずつ順番に電源を立ち上げ、マルチスペクトラムアナライザ及び送信機画面での電波干渉状況を確認しながら電波状況を測定し、占有率の高い状態での影響を測定する。
- ⑦ 上記、水平離隔距離が 3m にて測定が完了すれば、離隔距離を 6m に変え、同様に機体の電源を順番に立ち上げ、測定を実施する。

c) 意図的な与干渉波に対する電波干渉影響調査

本調査では、次の①及び②により電波干渉影響調査を実施した。

① 与干渉波が与えるドローンへの影響測定

電波を遮断する構造を持つ電波シールドテント（別添カタログ参照）内で与干渉波が与えるドローンへの影響を測定する。

信号発生器により生成した 2.4GHz 帯の干渉波を放射し、ドローンの運用に対する影響度合いについて調査する。

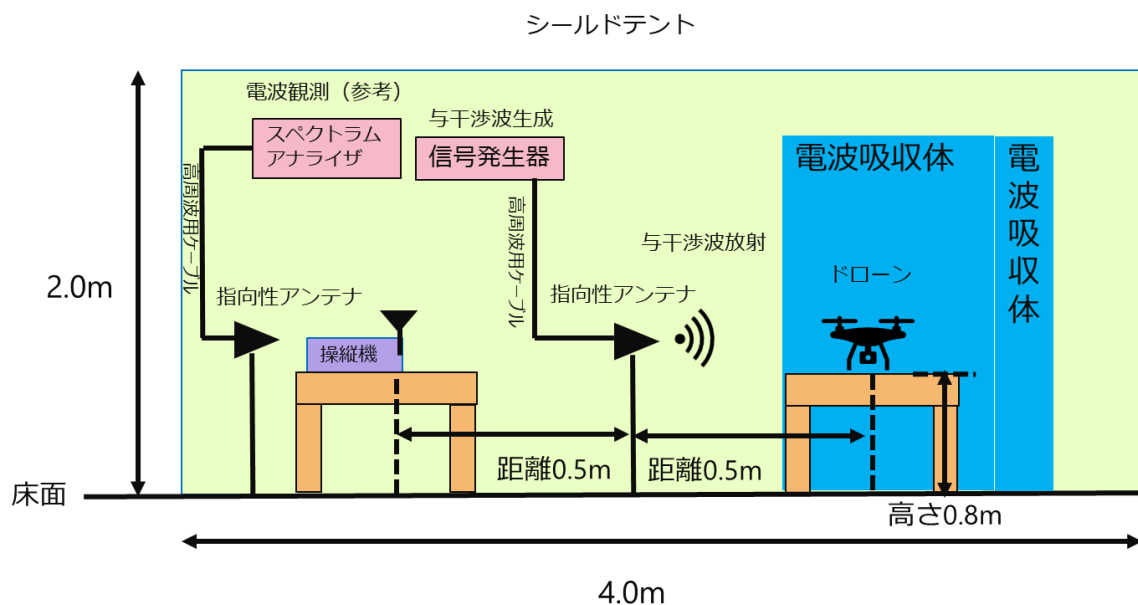


図 12 与干渉波に対する影響評価環境 試験構成（詳細イメージ）

表 10 干渉波の諸元

No.	項目名	仕様
1	与干渉波出力	+20dBm（変調歪無し最大）
2	指向性アンテナ利得	5dBi
3	高周波用ケーブル損失	2dB

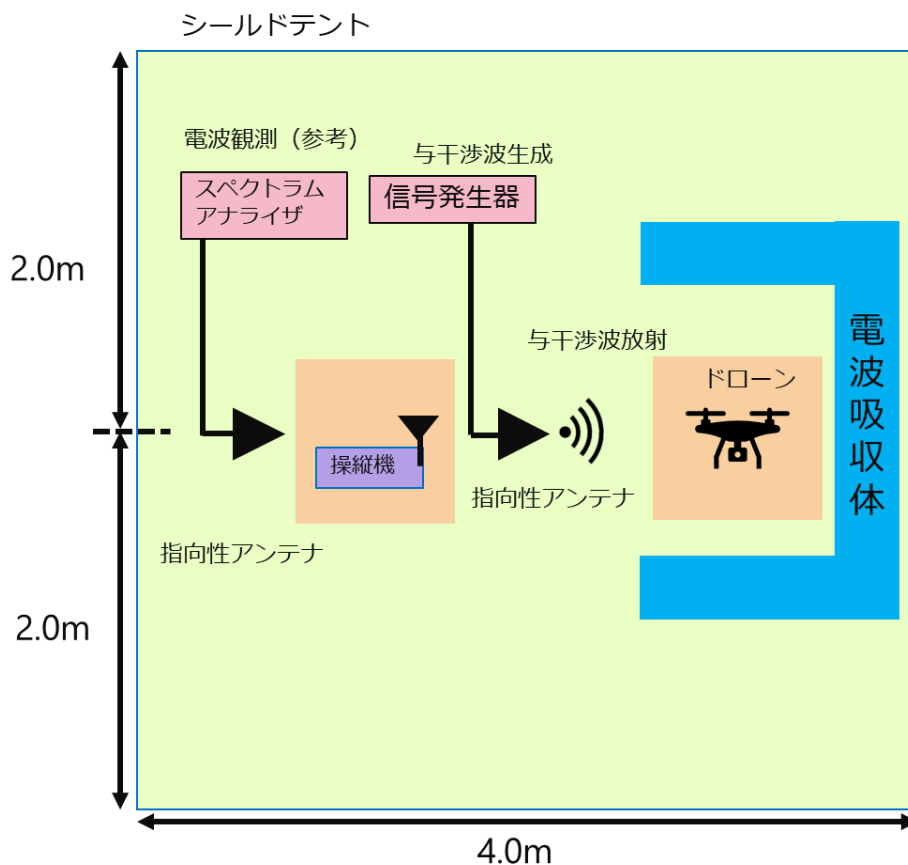


図 13 与干渉波に対する影響評価環境（上から見たイメージ）

表 11 測定機器の諸元

No.	機材名	仕様
1	信号発生器	製造元：アンリツ株式会社 型名：MG3710A 周波数範囲： 送信出力：+5dBm (CW)
2	マルチスペクトラムアナライザ	製造元：アンリツ株式会社 型名：MS2090A 周波数範囲：9kHz～32GHz 帯域幅：110MHz (RSTA)
3	指向性アンテナ	製造元：Aaronia 型名：HyperLog 6080 周波数範囲：700MHz～6GHz
4	電波シールドテント	製造元：東京計器アビエーション(株) 型名：SR7030T シールド性能：70dB 以上 (500kHz～30GHz) 高さ：2.0m・幅×奥行：4.0×4.0m

表 12 測定方法

測定項目	測定方法	判定基準
干渉波(2.4GHz 帯)の放射	<ul style="list-style-type: none"> ・信号発生器より干渉波を放射する。 ・放射レベルを徐々に変更する。 <p>条件：ドローンと指向性アンテナの離隔距離は 0.5m 一定とする。</p>	<p>送信機で通信異常時の表示（警告）の有無を確認する。</p> <p>※図 14 参照</p> <p>警告表示される時の放射レベルを測定する。</p>



図 14 通信異常時の送信機表示（例）

表 13 測定結果記録項目（例）

測定項目	測定値	
	影響時の与干渉波測定	与干渉周波数(MHz)

② 建物屋上現用携帯基地局との1機ずつ、メーカー・機種ごとの電波干渉調査

ドローンでの建築物外壁調査点検において、安全飛行を実現する上では、電波干渉による通信の途絶が非常に大きなリスクとなる。そのため、機体の特性により、実際の点検を実施する環境下などでどれだけの電波干渉を受け、通信が途絶されるかの電波干渉調査を実施する。実証場所は、現用の携帯基地局が多数設置されているミライト新木場ビルの屋上（図15 ミライト・ワン新木場ビル屋上 携帯基地局位置図及び図16 ミライト・ワン新木場ビル屋上 現用携帯基地局）とする。



図15 ミライト・ワン新木場ビル屋上 携帯基地局位置図

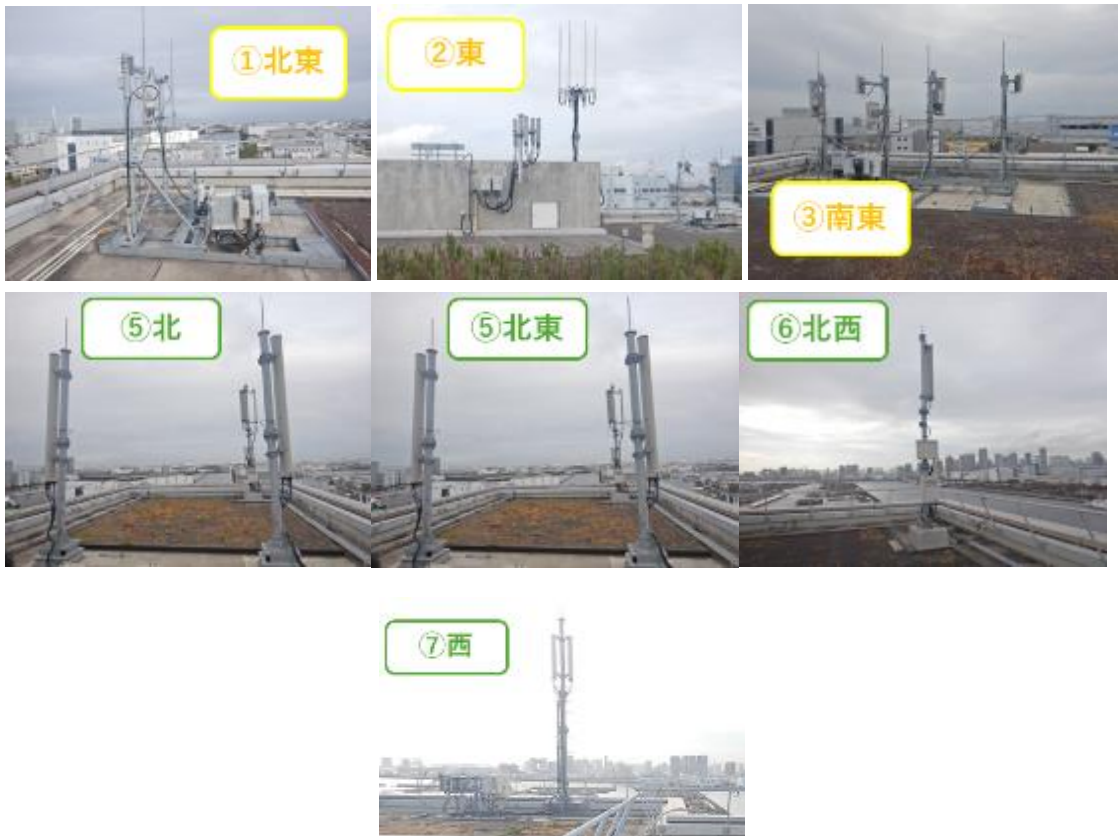


図 16 ミライト・ワン新木場ビル屋上 現用携帯基地局

具体的な実証方法としては、以下のとおりであり、機体を屋上面に運搬し、現用携帯基地局南側方向の干渉を受ける可能性が高い電波指向方向前の 2 箇所（図 17 現用基地局電波干渉測定位置図）にて計測を実施する。

- ① 地上面（図 17 中の測定①）に機体の送信機を準備し、送信機の電源を立ち上げる。
- ② 屋上面（図 17 中の測定②）に機体を準備し、落下防止策を行った上で、機体の電源を立ち上げる。
- ③ 屋上面の機体と地上面の送信機の電源が安定した後に、通信状況の確認を実施する。
- ④ 機体と送信機の通信・電波干渉状態を確認する。電波干渉により通信の品質の低下または通信が遮断するかについて確認を行い、電波干渉結果を記録する。
- ⑤ 電波干渉の測定完了後、地上面（図 17 中の測定②）、屋上面（図 17 中の測定②）に移動して、同様に①～④を実施する。
- ⑥ 上記①～⑤について、同様に機体 6 機種を変更し、通信状況の計測を繰り返す。

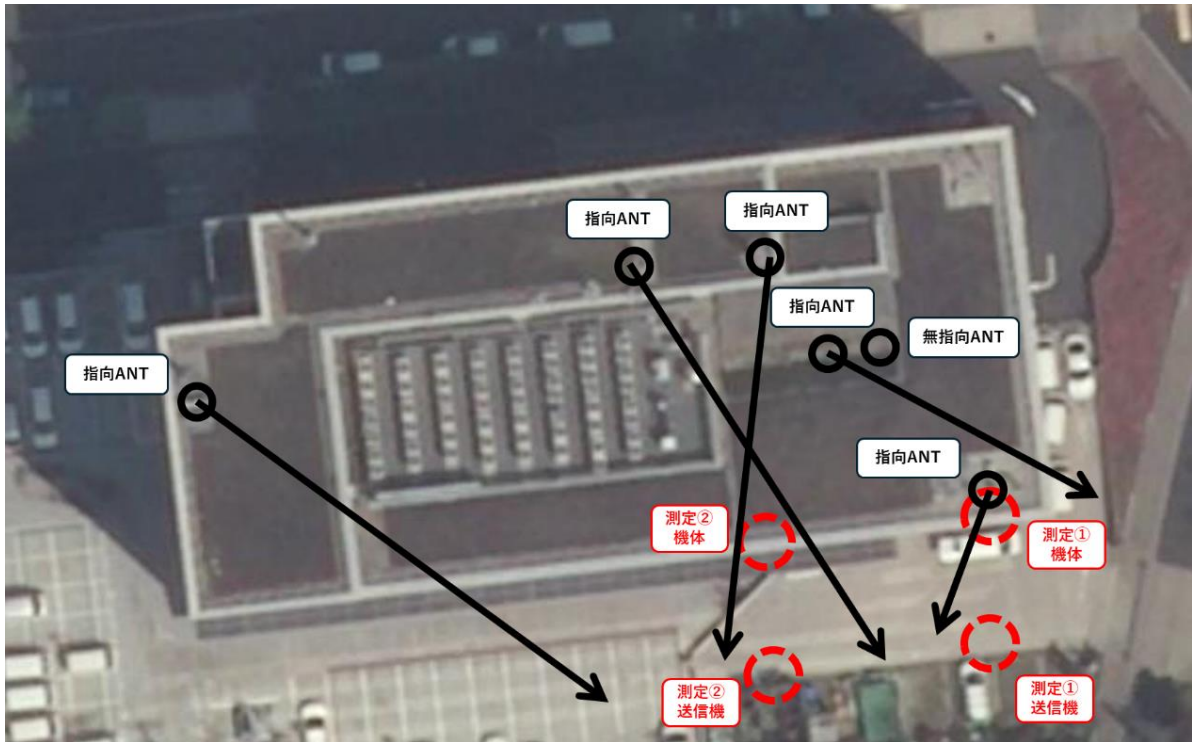


図 17 現用基地局電波干渉測定位置図

(3) 測定機器

a)～c)の調査すべてにおける電波の測定は、下記の測定機器により実施した。

表 14 測定機器の諸元

機材名	仕様	備考
マルチスペクトラムアナライザ	製造元：アンリツ株式会社 型名：MS2090A 周波数範囲：9kHz～32GHz 帯域幅：110MHz (RSTA)	すべての電波測定を同一の機材で測定

2.1.4 3Dデータ作成（実施項目③）の詳細

本実施項目では、ドローンに搭載したカメラで撮影した画像データとドローンに搭載したLiDARセンサにより取得した点群データから作成した3Dデータを活用することによる建築物外壁調査の省力化や、デジタルデータを活用した過去データとの比較の簡素化による建築物外壁調査の効率化を目的とし、従来の方法との優位性を把握する。

(1) 実証方法

ソフトウェアによる現状の建物での取得データと疑似的に変状を発生させた状態の建物での取得データの差分抽出により、経年劣化の発見可否確認とAI解析等のアウトプットとの比較により実施する。

当該建築構造物で画像データを取得し、3Dデータを作成する。画像データは、高い安全性の確保と航空法を遵守したドローンの飛行が可能なラインドローンシステムを使用して取得する。取得した3Dデータと2D画像データを比較し、損傷箇所が把握できるかの比較を行う。（PC画面の目視及び2D画像データで確認出来た損傷箇所を3Dデータに反映させて確認する）

実証は以下の3パターンの手法により実施し、有資格者による目視点検を、3Dデータを確認することによって置き換えることが出来るのかを確認する。

- a) 建物の設計図面から作成した3Dデータとドローンで取得した点群データから作成した現状の建物の3Dデータとの比較
- b) 建物に疑似的に変状を発生させてドローンから取得したデータでどの程度判断できるかの確認
- c) 建物の写真から3Dデータを作成し、経年劣化や損傷をPC画面上で判別できるかの確認
 なお、ラップ率を変えてドローンを飛行させ、各飛行方法によって得られるデータの精度を比較する。飛行方法については下記に記載する。

表 15 フライトプラン比較

プラン名	飛行高度	ラップ率	カメラ設定
フライトプラン①	高度 60m	SL:70% OL:80%	カメラ角度 90度 1ルート カメラ角度 45度 4ルート
フライトプラン②	高度 60m	SL:35% OL:40%	カメラ角度 90度 1ルート カメラ角度 45度 4ルート

SL：サイドラップ、OL：オーバーラップ

上記3パターン（a～c）の具体的な手順は以下のとおりである。

- a) 建物の設計図面から作成した3Dデータとドローンで取得した点群データから作成した現状の建物の3Dデータとの比較
 - ・ 設計図面から福井コンピュータのTREND-COREを使用し3Dデータを作成する。
 - ・ ドローン（機体C）に搭載したLiDARセンサを使用し、現状の建物の点群データを取得する。
 - ・ 取得した点群データをDJI terra（解析アプリ）を用いて処理をし、3D点群データを作成する。
 - ・ 設計図面から作成した3Dデータと現地で取得した点群データから作成した3D点群データを、

TREND-POINT を使用して差分解析を行う。

- b) 建物に疑似的に変状を発生させてドローンから取得したデータでどこまで判断できるかの確認
- ・ ドローン（機体 C）及び LiDAR センサを使用し、現状の建物を計測し、点群を取得する。
 - ・ 建物に厚さの違うコンパネ等の板材を 2 種類貼り付けて疑似的に変状を発生させて、再度、同様の手法により点群データを取得する。
 - ・ DJI terra で処理をし、3D データを作成する。
 - ・ 1 回目（現状の建物）と 2 回目（疑似的に変状を発生させた建物）のデータを比較し、差分を抽出する。
- ※コンパネの厚さは 12mm、5mm の 2 パターンで実証をする。

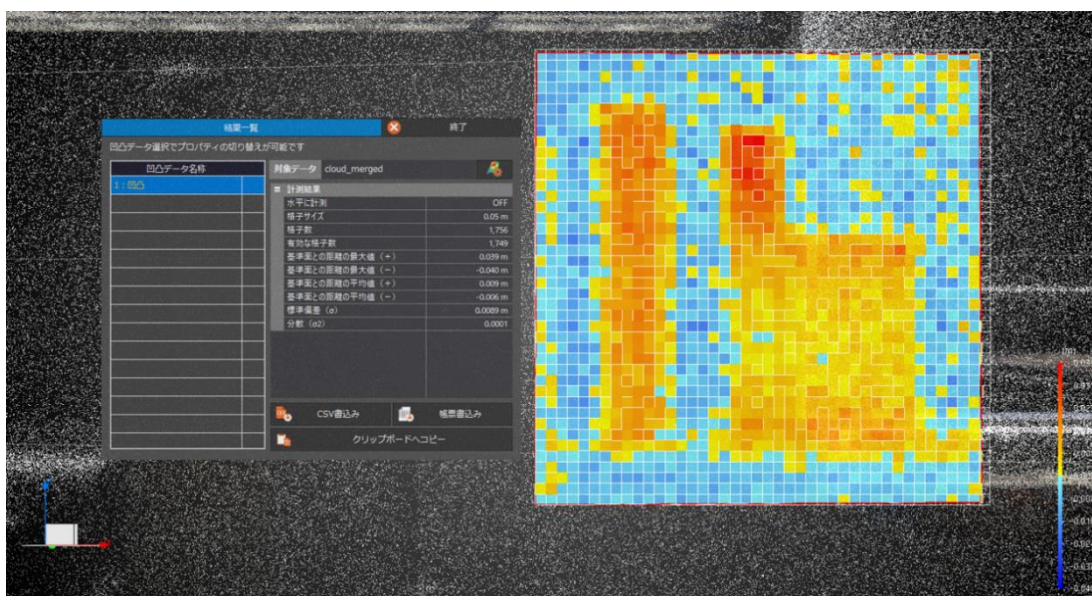


図 18 アプリ上処理イメージ

- c) 建物の写真から 3D データを作成し、経年劣化や損傷を PC 画面上で判別できるか確認
- ・ ドローン（機体 C）及び LiDAR センサを使用し、現状の建物の写真を撮影する。
 - ・ 取得した画像データを DJI terra で SfM 処理を行い、3D データを作成する。
 - ・ 作成した 3D データを PC 上に表示し、建物の損傷や劣化（ひび割れやタイルの剥離等）を判別できるか実証する。

(2) 使用機材等のスペック

本実施項目で使用した機材等のスペックと使用したソフトウェアの特徴を以下に示す。

なお、ドローンについては、表 6 比較機体一覧の中の機体 C を使用する。

表 16 使用 PC のスペック

項目名	仕様数値等
デバイス名	DESKTOP-V36L1PO
プロセッサ	12th Gen Intel(R) Core(TM) i7-12700H 2.30 GHz
実装 RAM	32.0 GB (31.7 GB 使用可能)
システムの種類	64 ビット オペレーティング システム、x64 ベース プロセッサ
処理時間の向上条件	複数の PC による同時処理、PC スペックの向上

表 17 センサ性能

項目名	仕様数値等
機材名称	LiDAR センサ
生産国	中国
最大リターン	3
センササイズ	1 インチ
寸法 (mm)	152 × 110 × 169
対応ソフトウェア	DJI Terra
システム精度	水平：10cm、垂直：5cm
選定理由	取得した点群をリアルタイムで見ることが可能なため

TREND-CORE (トレンドコア) は、4D 施工ステップによる施工手順の"見える化"や、BIM/CIM や i-Construction に対応するデータ作成が行える 3 次元 CAD である。発注者等との合意形成を手助けするビューア出力にも対応し、建設・土木施工業務の高度化を支援するソフトウェアである。

TREND-POINT の特徴は、点群のスムーズな高速処理を実現するとともに、断面作成機能、メッシュ土量計算機能を備えたソフトウェアである。

2.1.5 AI 解析（実施項目④）の詳細

本実施項目では、ドローン撮影画像を用いた AI 解析の建築物外壁調査への適用の可能性を実証する。

具体的には、ドローン撮影を用いたビル壁面の目視点検において発生する、人による壁面画像の目視確認の工程に対する省力化を目的として、撮影された映像に対して、異常検出モデルを用いた AI 解析を行い、異常の恐れのある箇所の誘目表示処理を行う。誘目表示処理の方法として、AI が判断した異常の恐れのない箇所を人が確認する必要のない箇所としてグレースケール化する処理を行う。このような処理を、以降ではスクリーニングと称する。スクリーニングを半自動で行うことで、建築物の外壁調査作業における人による作業時間削減を図る。

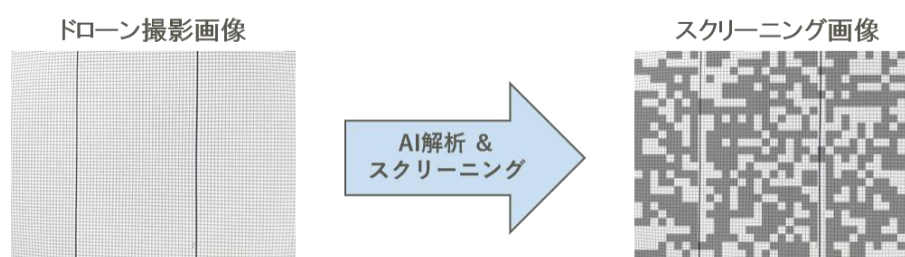


図 19 AI 解析による誘目表示（スクリーニング）

(1) AI 解析の学習モデル検討

AI 解析を行うにあたって、事前に点検対象となる壁面のデータを基に学習を行う必要がある。学習の方法には様々なものが存在し、学習モデル（または機械学習モデル）と呼ばれる。どの学習モデルを選択するかによって AI 解析の入出力の内容や性能が変化するため、本実施項目においても学習モデルの検討を行っている。以下に検討の内容を示す。

(ア) 本実施項目における AI 解析のコンセプト

点検対象となる壁面のタイプは様々で異常の種類もそれぞれ異なり、また天候や日照の状態も含めて撮影条件が一定にはならないことから、すべての建築物の壁面に対応した汎用性の高い AI 解析プログラムを用意することは困難である。そのため、点検時にその場で学習を行い、その時の点検対象のみに特化した AI 解析プログラムを作り上げる仕組みとすることで、より手軽な運用が可能な AI 解析のシステムを構築することを目標とする。

(イ) 本実施項目で用いる学習モデル

基本的に AI 解析中は計算機（PC）が単独で処理を行うため、人が作業に拘束されることはない。しかし、AI 解析の前段階にある AI 学習にあたっては事前に学習に用いるデータ（学習データ）を用意する必要があるため、そこで人による作業が発生してしまう。本システムのコンセプトを考えると、学習の際に必要な作業は煩雑でないことが望ましく、学習データの数も作業量に直結するため少ないことが望ましい。以上を基に、AI 解析に用いる学習モデルの選定を行った。

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」に大別されるが、「教師あり学習モデル」を採用する場合は、膨大な時間と労力を掛けて様々な異常を教師データとして事前に作成

する必要がある。これは本システムのコンセプトに沿わないため、現場で撮影した画像から正常データを学習するだけで、現場で AI 解析結果を出しうる「教師なし学習モデル」、具体的には近年異常検出タスクにおいて高い評価を得ている「Patchcore²」を採用した。「一般的な教師あり学習モデル」と「採用した教師なし学習モデル（Patchcore）」の違いを表 18 学習モデルごとの特徴、図 20 学習データの違いに示す。

表 18 学習モデルごとの特徴

	一般的な教師あり学習モデル	採用した教師なし学習モデル (Patchcore)
期待される効果	異常箇所を検出 異常の種類を分類	異常箇所を検出
学習データへの前処理	異常箇所、異常の種類 の指定 (専門知識を要する作業)	不要
必要となる学習データ数	異常の種類ごとに数百枚程度	数十枚程度

教師あり学習の場合、壁面の異常に対して専門知識を有する有資格者（1, 2 級建築士、特定建築物調査員）によって、検出をさせたい異常の種類毎に数百枚から数千枚程度の学習データの作成を行わなければならない、作業量として負担が大きいうえに、それだけの数の壁面の異常箇所のデータを用意すること自体が困難である。一方で Patchcore の場合、正常な壁面データのみを学習データとするため、学習段階において壁面の異常に対する専門知識を必要としない。加えて、必要となる学習データの数も教師あり学習と比較して少なくなる。

以上の 2 点から、専門家に負担をかけない形で AI 解析の導入を可能とする。

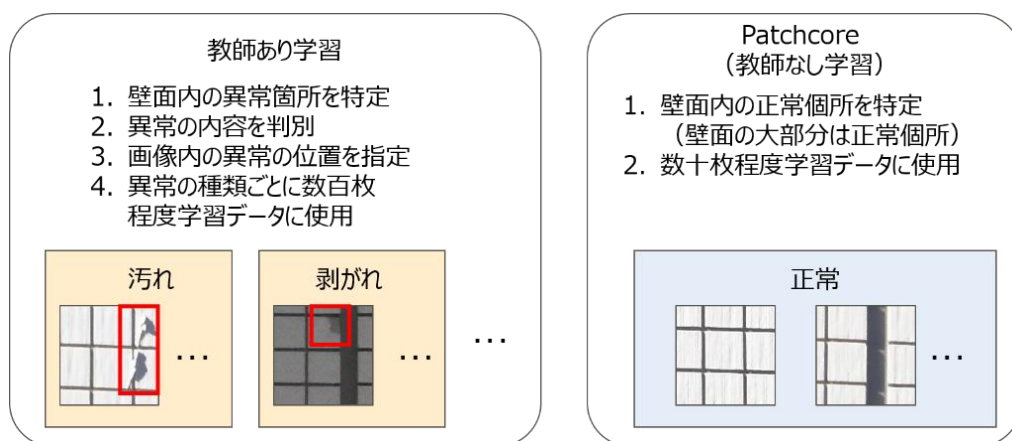


図 20 学習データの違い

² “Towards Total Recall in Industrial Anomaly Detection”, 2022, K. Roth, et al. https://openaccess.thecvf.com/content/CVPR2022/papers/Roth_Towards_Total_Recall_in_Industrial_Anomaly_Detection_CVPR_2022_paper.pdf

(2) AI 解析手順

本実施項目における AI 解析の手順は以下の通りとなる。

- a) 撮影
 - ドローンによる建物壁面の画像撮影を実施
- b) AI 解析用画像データ生成
 - “a) 撮影”で取得した元画像を基に AI 解析用画像データを生成
- c) 学習
 - “b) AI 解析用画像データ生成”で取得した画像データのうち正常な壁面の画像データを用いて、AI 解析プログラムの学習を実施
- d) 異常スコアに基づく画像データ分類
 - “c) 学習”で学習した AI 解析プログラムを用いて、画像データを正常な壁面の画像データと異常な壁面の画像データに分類
- e) 学習データの追加
 - 必要に応じて、学習データを追加(正常な壁面の画像を新たに加え、“c) 学習”へと戻る)。

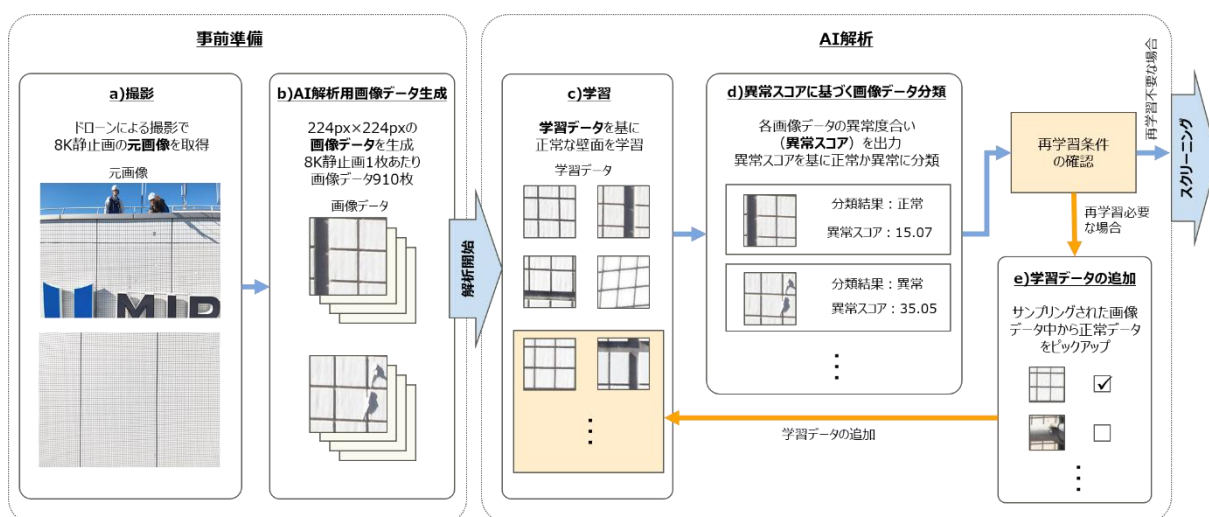


図 21AI 解析のフロー

以降で各手順の詳細を述べる。

a) 撮影

AI 解析は、撮影したドローンの位置情報が付与された、建物壁面の静止画(以下、元画像と呼ぶ)を使用する。元画像はドローンで撮影された 8K 広角撮影の静止画のほか、4K 光学ズーム撮影の静止画や 4K 動画など、実証項目に応じて様々な撮影方法によって得られた映像に対して、動画からのフレーム抽出など、正対で撮影した静止画となるように必要に応じて加工処理を加えたものを使用した。具体的な処理の内容は 2.1.5 (6) 比較実証にて示す。

b) AI 解析用画像データ生成

元画像を AI 解析プログラムへの入力に適したサイズ (224px×224px) の画像に分割することで、

AI 解析用画像データを生成した。なお、本実施項目においては精度評価のために、すべての画像データに対して人による確認を行い、正常データ、異常データ、適用範囲外データへの仕分けを実施した。

仕分けは以下に示した基準に従って行った。なお、異常データ(特定異常)と異常データ(その他)のどちらかに該当するデータ群を異常データ(全体)と呼称する。

- 画像データ
AI 解析プログラムの入力となる画像（224px×224px）。実証のため、内容に応じてラベル分けされる。
- 対象データ（適用範囲内データ）
AI 解析の対象とする画像データ。本実施項目においてはタイル面（及びタイル面上の目地）を対象とした。
- 適用範囲外データ
AI 解析の対象外とする画像データ。画像データのうち、対象データに含まれないもの全てであり、適用範囲外としたデータは、精度評価に用いない。ただし、AI 解析の入力には含まれる（適用範囲外データの特徴は学習されないため、基本的に異常として分類される。）。
- 正常データ

AI 解析担当者による画像確認にて、正常と認定された箇所が映った対象データ。

- 異常データ（特定異常）
有資格者（1, 2 級建築士、特定建築物調査員）の検査員による目視点検の結果、異常と認定された箇所が映った対象データ。なお、撮影対象とした新木場ビルにおいて、検査員による目視点検の結果、異常と認定された箇所は合計で 40 か所存在した。
- 異常データ（その他）
AI 解析担当者による画像確認にて、異常と認定された箇所が映った対象データのうち、異常データ(特定異常)を除いたものとする。

データの仕分け方法を図 22 データの仕分けに示す。

画像データ

対象データ (適用範囲内データ)

タイル面や目地のみの個所が映った画像データ

正常データ



一般人による画像確認にて
正常と認定された箇所

異常データ



検査員による目視点検にて
異常と認定された箇所

一般人による画像確認にて
異常と認定された箇所

適用範囲外データ

タイル面や目地以外 (空、看板、人、窓など) が
映った画像データ ⇒ AI解析の対象外



異常があっても
適用範囲外として扱う

図 22 データの仕分け

c) 学習

以下の手順に従って AI 解析プログラムの学習を実施した。

- ① 画像データの中から、正常データを任意の数（1 枚以上）選択し、学習データに加える。なお、本実施項目においては AI 解析プログラムの性能評価のため、正常データから無作為に 1 枚を学習データに加え、後述の“e) 学習データの追加”における学習データ追加アルゴリズムに従って学習データを追加する形式を採用した。これによって使用者に依存しない AI 解析プログラムの性能を取得している。
- ② 学習データを用いて AI 解析プログラムの学習を実施した。

d) 異常スコアに基づく画像データ分類

以下の手順に従って画像データを異常データと正常データに分類した。

- ① 全ての画像データに対して AI 解析を実施し、各画像データの異常度合いを示す異常スコアを出力した。異常スコアは、画像単位とピクセル単位の 2 種類で出力される。以降で単に異常スコアと記載がある場合、画像単位の異常スコアを指す。
なお、今回採用した Patchcore において、異常スコアは以下の手順で取得した。
 - I. 学習データに対して CNN モデル(用語集参照)を用いた特徴量抽出を行い、結果を保存
 - II. 画像データに対して CNN モデルを用いた特徴量を抽出
 - III. 学習データの特徴量と、画像データの特徴量の距離を異常スコアとして算出
- ② 異常スコアを基に正常か異常に画像データを分類した。
- ③ AI 解析結果として、各画像データに対する異常スコアと分類結果を出力した。
- ④ 必要に応じて“e) 学習データの追加”の手順に従って AI 解析プログラムの学習データを追加した。

e) 学習データの追加

以下の手順に従って、再学習条件を設定し、条件に該当する場合は学習データを追加し、再度“c) 学習”の手順に戻って AI 解析を実施した。

- ① 再学習条件として、学習データ数が 60 枚未満の場合に学習データの追加を行うよう設定する。再学習条件に該当する場合、②以降の手順を実行し、該当しない場合は AI 解析結果の評価を行った。
- ② 画像データから一部データをサンプリングし、その中から正常データをピックアップして学習データに追加した。以下に今回用いたデータのサンプリング、ピックアップのアルゴリズムを示す。
全画像データを異常スコアの大きい順にソートし、上から 10%, 20%, …, 90%の順位にある画像データのラベルを確認し、正常データであった場合は学習データに加えた。正常データ以外であった場合、その一つ上の順位（異常スコアが高い方）を最大で画像データ数の 10%分の回数、正常データが確認されるまで繰り返し、確認された正常データを学習データに加えた。実運用においては画像データの確認は人の目視で行うが、本実施項目においては事前の仕分け結果に基づいてすべて自動で確認を行った。
- ③ “c) 学習”に戻る。

学習データの追加のイメージを以下に示す。

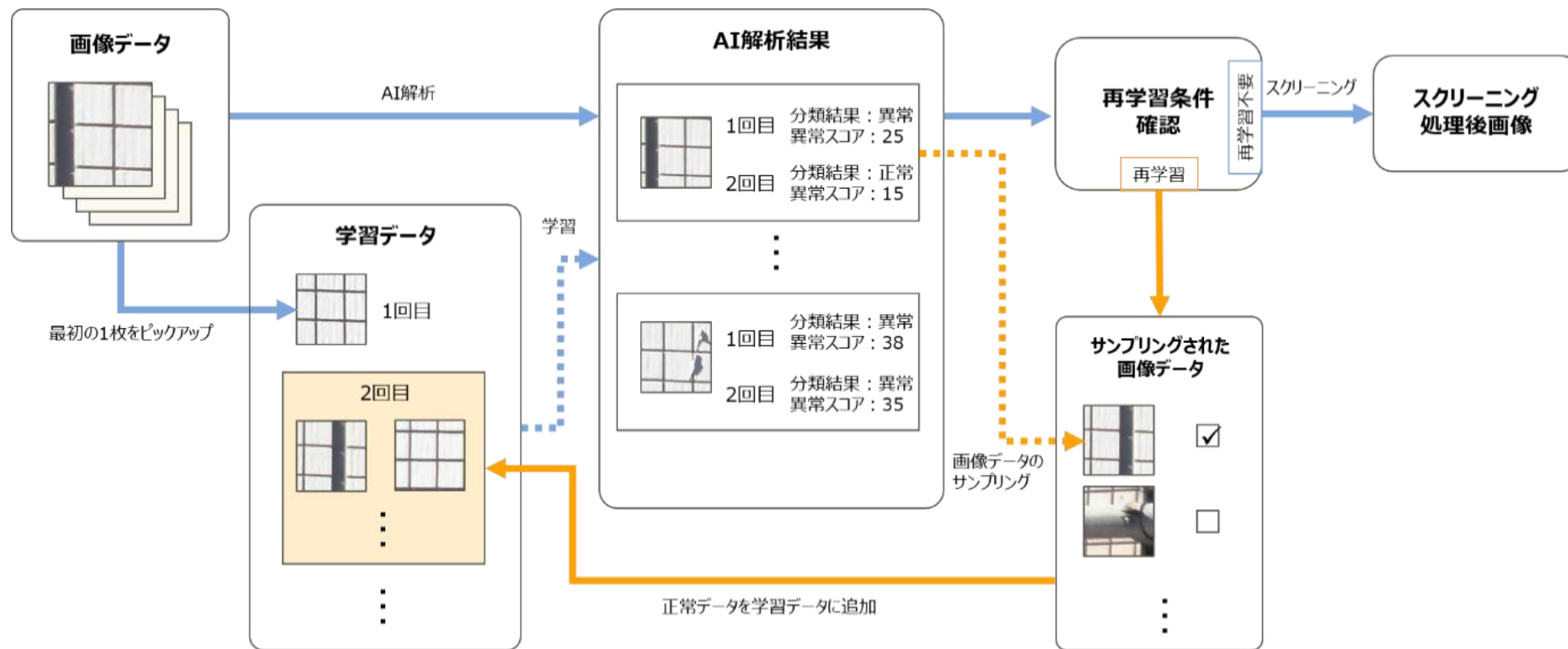


図 23 学習データの追加イメージ

(3) AI 解析結果の 2D 設計図面データへのマッピング

将来的な運用における 3D データデータとの連携を見据えて、実証開始当初は AI 解析結果を 3D データデータへマッピングする方針としていたが、実証を進めるなかで具体的な運用を考慮した結果、現状の有資格者による壁面の目視点検・診断の結果のレポートにおいては立面図に対して異常診断箇所をプロットしているため、2D 設計図面データ(立面図)で確認できる方が実運用に即していることが明確となった。

このため、2D 設計図面データ(立面図)と連携するのが妥当と判断し、AI 解析結果のマッピングは 2D 設計図面データ(立面図)に対して行うこととし、以下の方針により実施した。

- 既存のソフトを用いて過剰な手間やコストをかけることなく実現する。
- 診断が必要な撮影画像の範囲を 2D 設計図面データ上に表示させる。
- 撮影した画像が 2D 設計図面データ上のどの位置のものか対応づけを行う。
- 診断時に必要となる AI 解析結果画像を選択的に確認できるようにする。

(4) 検証方法

実証項目を以下に示す。実証項目は、大まかに「基本実証」と「比較実証」、「省力性実証」の 3 つに分かれる。

表 19 実証項目

実証項目		概要
基本実証		AI 解析の基本性能と撮影条件の評価のため、新木場ビル壁面の 8K 静止画撮影データに対して AI 解析を実施
比較実証	① 動画撮影の適用実証	ドローン撮影の省力化のため、動画撮影データに対して AI 解析を実施
	② ズーム撮影の可能性実証	AI 解析の適用範囲評価のため、同じ範囲を異なる倍率の光学ズームを用いて撮影した静止画撮影データに対して AI 解析を実施 ただし、評価を行うために十分な撮影データが確保できなかったため、AI 解析による検証の対象外とした。
	③ 撮影距離に関する実証	AI 解析の適用範囲評価のため、同じ範囲を異なる離隔距離で撮影した静止画撮影データに対して AI 解析を実施。
	④ 傾き撮影の適用実証	ドローン撮影の省力化のため、ドローンを左右方向に傾けて撮影した静止画撮影データに対して AI 解析を実施。
	⑤ 異なる壁面素材の適用実証	AI 解析の適用範囲評価のため、タイル面以外の面を対象として AI 解析を実施。
省力性実証		AI 解析による省力化性能の評価のため、AI 解析の導入によるドローンを用いた壁面の目視点検の時間削減効果を確認。

ドローンによる撮影結果を基に具体化した実証方法を表 20 実証方法に示す。

表 20 実証方法

実証項目		内容	詳細
基本実証		AI 解析	<p>新木場ビル壁面を対象として AI 解析 撮影条件に基づいて以下に分けて解析を実施</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 東面 離隔距離 3.6m (元画像： 10 枚、画像データ： 9,100 枚) ● 東面 離隔距離 4.0m (元画像： 32 枚、画像データ： 29,120 枚) ● 東面 離隔距離 5.0m (元画像： 12 枚、画像データ： 10,920 枚) ● 北面 離隔距離 4.0m (元画像： 68 枚、画像データ： 61,880 枚) ● 西面 離隔距離 4.0m (元画像： 61 枚、画像データ： 55,510 枚) ● 南面 離隔距離 4.0m (元画像： 96 枚、画像データ： 87,360 枚)
比較実証	① 動画撮影の適用実証	AI 解析	東面 3.6m の 4K 動画撮影データから 5 秒 1 フレーム間隔で静止画を作成し、基本実証同様の手法で AI 解析
	② ズーム撮影の可能性実証	AI 解析	東面 3.6m の 4K ズーム撮影データについて、基本実証同様の手法で AI 解析(2 倍/8 倍)
	③ 撮影距離に関する実証	AI 解析	評価を行うために十分な撮影データが確保できなかったため、AI 解析による実証の対象外とした。
	④ 傾き撮影の適用実証	AI 解析	東面 3.6m の +30 度/-30 度 8K 広角傾き撮影画像に台形補正処理を施し、基本実証同様の手法で AI 解析
	⑤ 異なる壁面素材の適用実証	AI 解析	西面の上層階部分の元画像についてセメント面を正常データとして、基本実証同様の手法で AI 解析
省力性実証		工数比較	AI 解析を活用した壁面検査と従来の手法の壁面検査との間で工数を比較

ドローンによる撮影条件を以下に示す。ただし、係留装置の位置の都合や、撮影距離に関する実証のために 4m 以外の離隔距離で撮影されている場合がある。

- 静止画 (8K (8000×6000))
 - 動画 (4K (3840×2160))
 - 静止画 (4K (4000×3000)) ・ [2 倍/4 倍/8 倍]ズームで撮影
 - 静止画 (8K (8000×6000)) ・ 離隔距離[3m/4m/5m]で撮影
 - 静止画 (8K (8000×6000)) ・ ドローンを左右に 30 度傾けて撮影
- 撮影に使用するドローンの、機体のカメラ性能を次に示す。

表 21 機体カメラ性能

項目名	仕様数値等
センササイズ	1/2 インチ CMOS
有効画素数	4800 万画素
焦点距離	24mm(35mm 換算)
ズーム	1/2 インチ CMOS 有効画素数:1200 万画素 焦点距離:162mm (35mm 判換算)
最大静止画	8000×6000
動画解像度	4K:3840×2160@30fps FHD:1920×1080@30fps
静止画形式	JPEG
動画形式	MP4(MPEG-4 AVC/H.264)

(5) 基本実証

表 20 に示した通り、8K 広角カメラで撮影された壁面の静止画データに対して、(2) に示した手順に従って AI 解析を実施した。

検査対象となるデータは 8K 広角カメラによって撮影した新木場ビルの壁面のデータである。ドローンによる壁面の撮影は 3 日間にわたって実施しており、撮影された時間や面によって映り方が大きく異なる。そのため、撮影単位に併せて以下の 6 パターンに分けて検証した。

- 東面 離隔距離 3.6m (元画像 : 10 枚、AI 解析用画像データ : 9,100 枚)
- 東面 離隔距離 4.0m (元画像 : 32 枚、AI 解析用画像データ : 29,120 枚)
- 東面 離隔距離 5.0m (元画像 : 12 枚、AI 解析用画像データ : 10,920 枚)
- 北面 離隔距離 4.0m (元画像 : 68 枚、AI 解析用画像データ : 61,880 枚)
- 西面 離隔距離 4.0m (元画像 : 61 枚、AI 解析用画像データ : 55,510 枚)
- 南面 離隔距離 4.0m (元画像 : 96 枚、AI 解析用画像データ : 87,360 枚)

なお、東面のデータのみ 3.6m, 4.0m, 5.0m の 3 パターンに分けられているのは、図 24 東面の画像データの例に示す通り、それぞれのパターンごとに日照条件と撮影距離が異なるためである。

図の左が、午前中の撮影画像。図の中央が、夕方の撮影画像。図の右が、昼頃の撮影画像。

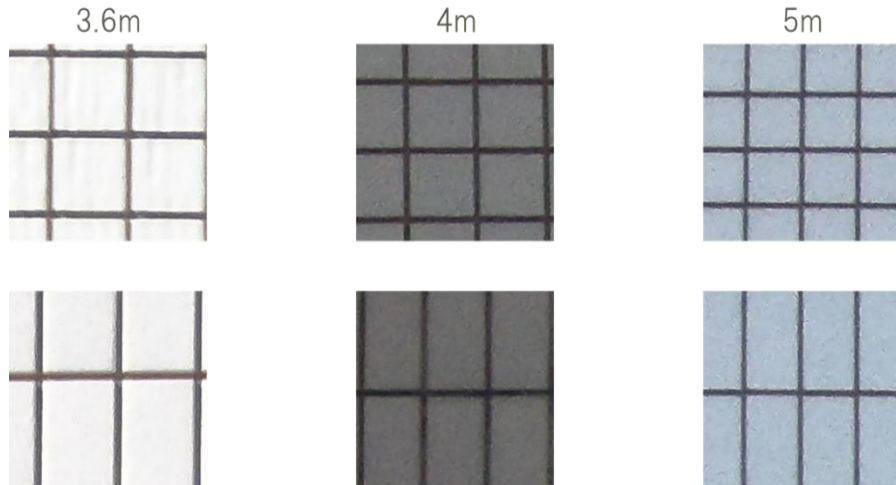


図 24 東面の画像データの例

(6) 比較実証

ドローンによる撮影の効率化や、AI 解析プログラムの適用可能範囲の実証を目的として、撮影方法や画像データの仕分け基準を変更し、AI 解析を実施した。元画像作成までの前処理を追加したことを除き、AI 解析の手順に関しては基本実証と同様である。実証方法を以下に示す。

(ア) 動画撮影の適用実証

ドローンによる撮影の省力化を目的として、静止画撮影ではなく動画撮影で得られたデータを用いて AI 解析を行った。AI 解析プログラムは静止画のみに対応しているため、本検証では動画データから一定フレーム間隔で画像（静止画）を抽出し、元画像とした。

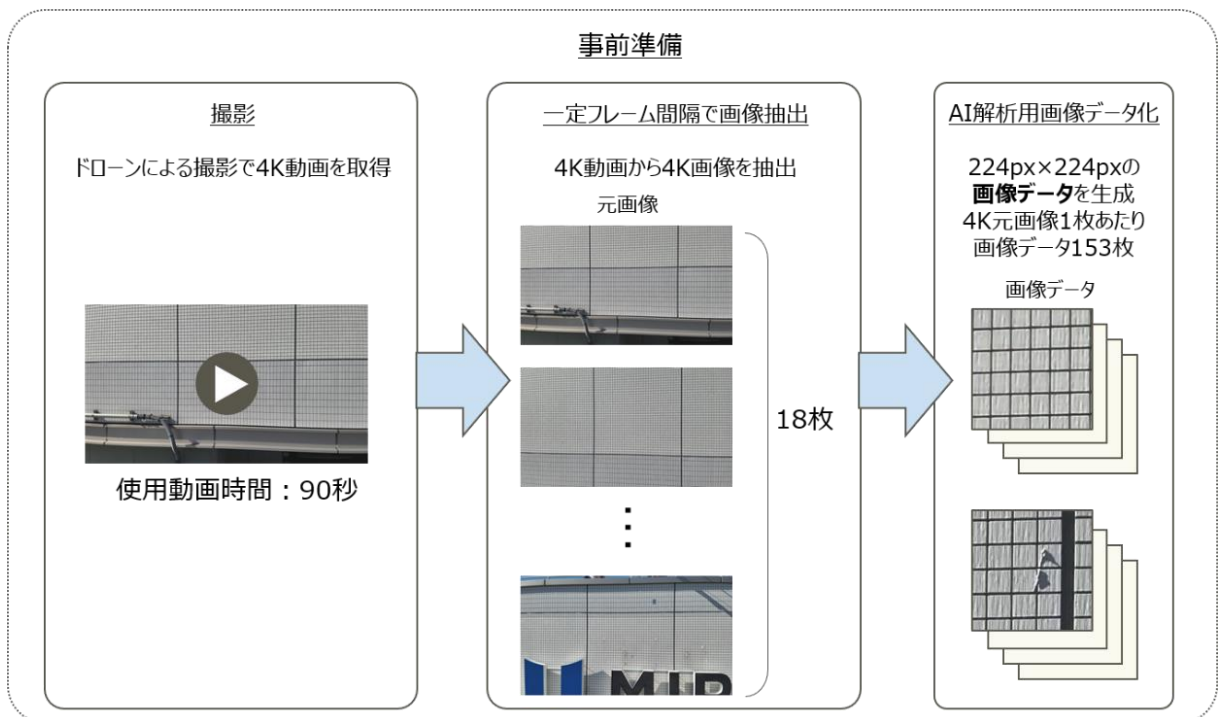


図 25 4K 動画撮影データに対する事前準備

(イ) ズーム撮影の可能性実証

AI 解析プログラムの検出能力の可能性実証を目的として、2 倍/4 倍/8 倍の光学ズーム撮影にて得られたデータを用いて AI 解析を行った。加えて、クラックスケールの画像を目視確認することで検討を行った。なお、4 倍のズーム撮影データにおいては適切なデータが撮影できなかったため AI 解析を実施しないこととした。

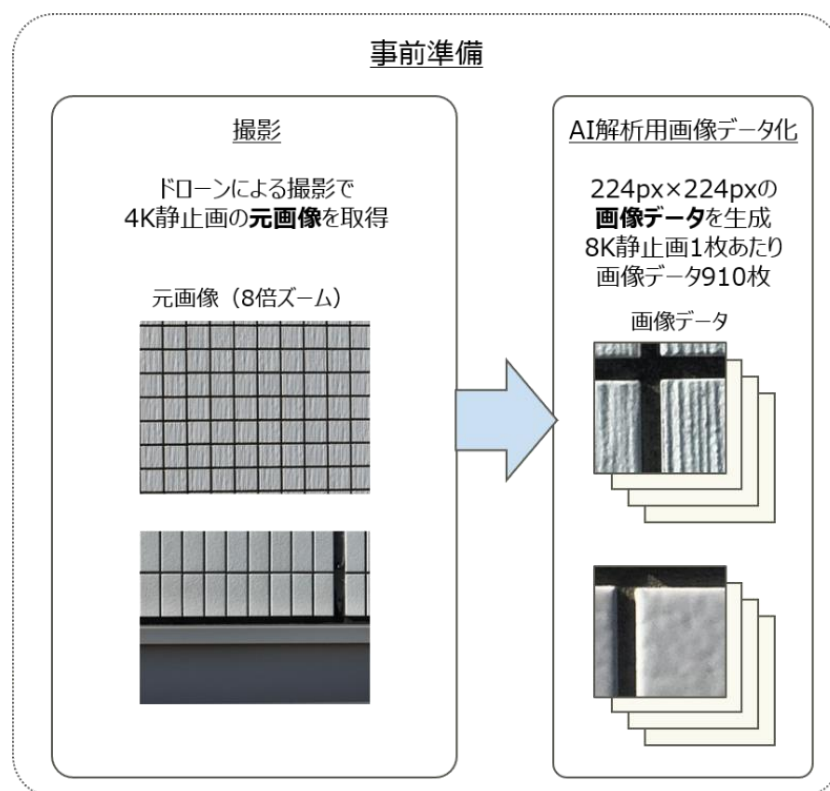


図 26 4K ズーム撮影データに対する事前準備

(ウ) 撮影距離に関する検証

AI 解析プログラムの検出能力の可能性実証を目的として、3m/4m/5m の距離での撮影にて得られたデータに対して検討を行った。撮影データは 8K 広角静止画であるため、基本実証から追加で実施される前処理はない。なお、本検証において、適切なデータが撮影できなかったため AI 解析を実施しないこととした。

(エ) 傾き撮影の適用検証

撮影の効率化を目的として、ドローンを左右に 30°傾けた状態での 8K 撮影により得られたデータを用いて AI 解析を行った。画像データの壁面上での面積を一定にするため、台形補正によって正対で撮影されたものと同様になるように補正を行ったものを元画像とした。

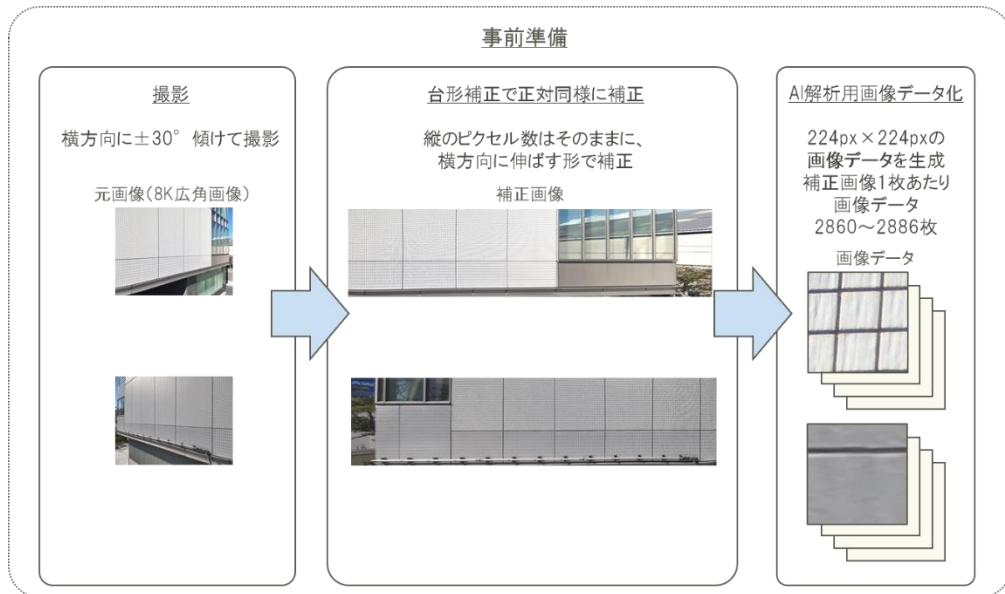


図 27 8K 傾き撮影データに対する事前準備

(オ) 異なる壁面素材の適用実証

AI 解析プログラムの適用可能範囲の実証を目的として、タイル面以外のテクスチャの壁面を対象データとして AI 解析を行った。本比較実証においては、以下の理由から西面の上層階のセメント面の画像データを対象とした。

- 十分なデータ数が存在するため
- タイル面同様に周期性のある、単純なテクスチャであるため
- 発見すべき特定異常がデータ内に存在するため (図 28 異なる壁面素材データに対する事前準備の特定異常)

対象データの変更に伴って、画像データの仕分け作業を再度実施した。

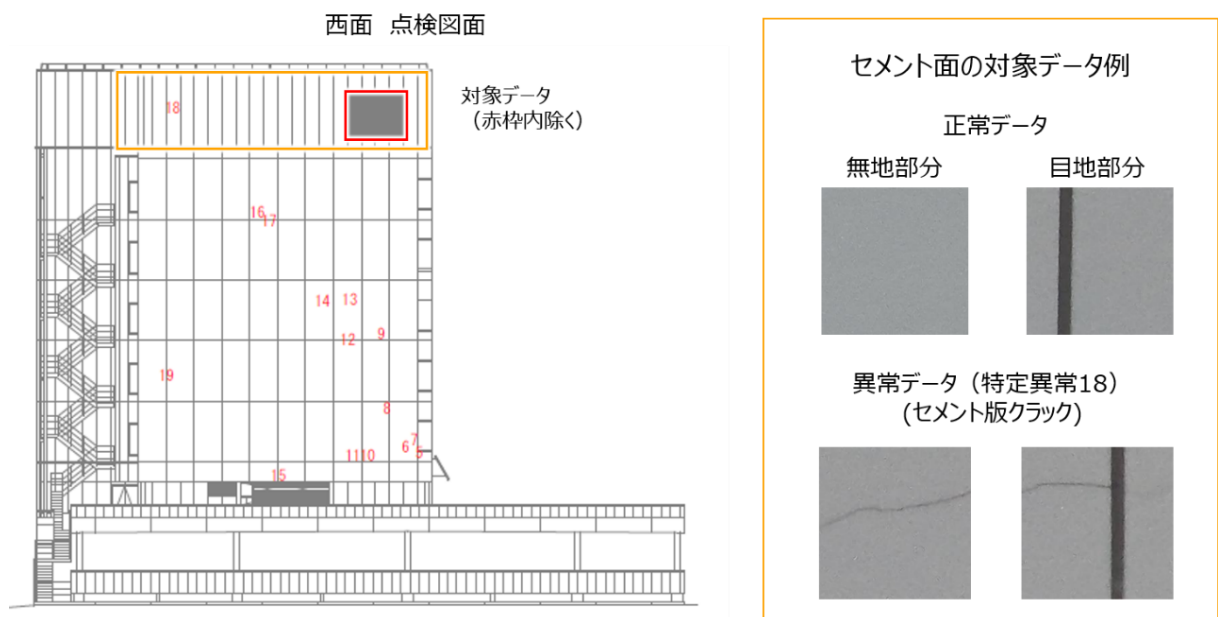


図 28 異なる壁面素材データに対する事前準備

(7) 省力性実証

AI 解析を活用した壁面検査と従来の手法による壁面検査との間で工数の比較を行った。

基本実証をモデルケースとして、壁面検査に要する時間を取得した。画像データに対する事前の仕分け作業や、学習データの追加時の正常データ選定など、実証のために実施している（従来手法では発生しない）工程や、逆に自動化されている（従来手法では発生する）工程が存在するため、最終的な評価に向けて実運用上で必要となる工程を列挙し、それぞれで要する時間を計測・算出することとした。AI 解析を活用した壁面検査に要する工程は、その内容によって以下の 2 種類に分けられる。また、2D 設計図面データへのマッピング結果から省力性、拡張性も確認する。

- ① 人によるオペレーション
- ② 計算機（PC）上の処理

以下に詳細を示す。

- ① 人によるオペレーションにかかる時間は、以下が該当する。

- ドローン撮影

AI 解析のために必要な画像のドローン撮影に要する時間

ドローンの撮影結果より基本実証と同じ面数、同じライン数で撮影した場合の

ドローンでの撮影の所要時間を算出した。

- 学習データ選択

学習データの追加における正常データ選定に要する時間

想定する作業量を基に参考値を決定した。

- スクリーニング処理後の壁面画像の診断

AI 解析後に生成されたスクリーニング処理後の壁面画像の診断に要する時間

有資格者によるスクリーニング処理後の壁面画像に対する目視診断試験を実施し、

要した時間を計測した。

- 壁面画像の診断

スクリーニング処理がなされていない壁面画像（元画像）の診断に要する時間スクリーニング

処理後の壁面画像の診断時間を基に参考値を決定した。

- ② 計算機（PC）上の処理にかかる時間は以下が該当する。所要時間として、プログラムの動作時間を計測した。

- 画像データ生成

元画像から画像データを生成する時間

- AI 解析



AI 解析において異常データの算出に要する時間

- 画像生成

AI 解析後のスクリーニング処理後の画像生成に要する時間

点検方法ごとの作業工程と所要時間を以下表 22 に示す。

表 22 作業工程と所要時間

 : 人によるオペレーション (前述①の工程)
 : 計算機(PC)上の処理 (前述②の工程)

点検方法		工程	所要時間	補足
現場での目視点検		壁面目視点検	最終的な評価結果 で 記載	書類作成除く
ドローンによる点検	AI 解析なし	ドローン撮影	最終的な評価結果 で 記載	ドローンによる点検で 共通
		壁面画像の目視 確認	参考値	参考値を入力
	AI 解析 活用	ドローン撮影	最終的な評価結果 で 記載	ドローンによる点検で 共通
		学習データ選択	参考値	参考値を入力
		AI 解析 + 画像出力	プログラムの動作時 間 を計測	スクリーニング後の画 像出力までの時間
		AI 解析後壁面 画像の診断	試験結果	有資格者による試験 を実施

2.2 実施場所等

表 23 実証場所と実証項目

No.	実証場所（住所）	実証項目
1	（株）ミライト・ワン 新木場ビル 東京都江東区新木場 2-15-20	③ 3D データ作成 ④ AI 解析
2	（株）ミライト・ワン 市川キャンパス 千葉県市川市原木 4-8-8	① ドローン機材性能評価
3	アンリツ（株）本社ビル 神奈川県厚木市恩名 5 丁目 1-1 都市部での建築物近傍空中電波計測に適していること、及び「電波シールドテント」での機体・送信機間電波の実証が可能のため	② 電波環境調査
4	（株）ミライト・ワン 熊谷キャンパス 埼玉県熊谷市村岡 345-1 この施設では、以下の飛行方法で飛行した。 ① 野外における係留装置を使用した飛行方法。 ② 室内とネットに囲われたドローンコートで係留装置を使用しない飛行方法。 ②の飛行方法では、係留なしの状態での安全性を考慮して、フライアウェイ防止として室内やネットによる疑似屋内としているドローンコートを活用した。	① ドローン機材性能評価

2.3 実施条件等

実施条件は以下となる。

- ・ ドローンの飛行に関しては、国土交通省航空局の許可・承認を得て使用した。
- ・ ドローンの飛行のルールは、「航空局標準飛行マニュアル(20221205 版)」に従った。
- ・ 建築物の点検に関しては、特定建築物調査者が、従来の点検項目に従い実施した。
- ・ 天候等によるドローンの使用の可否は、建築ドローン飛行管理責任者の判断に従った。

2.3.1 安全対策

本実証は、建築現場同様の安全対策をしつつ、ドローン飛行における安全も留意して作業をした。実証場所は、あらかじめ現地調査して、周囲の危険箇所となる建築物や電波状況、道路や樹木等の状況を確認した。現地調査の結果より、飛行計画を検討し、飛行計画書を作成した。

実証時のドローンについては、ドローンのフライアウェイや予期せぬ動作に備えて、基本的には係留装置を使用した。係留装置は、「1点係留」と「2点係留」の2種類を使用した。使用した係留装置の状況について、「1点係留」「2点係留」を以下に示す。



図 29 「1点係留」設置状況 (左)係留装置全景、(右)係留状態のドローン



図 30 「2点係留」設置状況 (左)係留装置全景、(右)係留状態のドローン

実証時の飛行場所については、係留装置の使用方法に基づき周囲の決められた範囲について第三者の立ち入り禁止措置を設けた。計測時の第三者立ち入り禁止措置の状況を以下に示す。



図 31 第 3 者立ち入り禁止措置状況(左)1 点係留、(右)2 点係留

係留装置を使用できないドローンを使用する場合や、係留装置を使用しない測定の場合は、ドローンのフライアウェイや予期せぬ事態に備え、室内や周囲をネットに囲まれた、疑似飛行場を使用して計測した。係留装置を使用しない飛行方法の状況を以下に示す。



図 32 係留装置なしの飛行状況(左)室内、(右)ネット内

飛行させるドローンについては、あらかじめ統括責任者、建築ドローン飛行管理責任者、ドローン操作者が、話し合いや作成した飛行計画書に基づき、ドローンのフェールセーフ機能や、緊急時のドローン操作法といった、緊急時の対応を取り決め、ドローンの設定として反映させた。このドローン設定の反映は、飛行前確認として必ず建築ドローン飛行管理責任者とドローン操作者により再確認をした。ドローン設定確認状況を以下に示す。



図 33 ドローン設定確認状況

また、使用した機体は、基本的にプロペラが側面にあるため、ドローン衝突時には、衝突対象物への被害拡大やプロペラ破損による墜落リスクがある。このため、ドローンには、プロペラを保護するためのプロペラガードといった安全設備が用意されている。しかし、それら設備も機体によって異なっており、プロペラガードが用意されている機体と用意されていない機体があり、また、機体ごとに専用の形状をしている。

本実証では、プロペラガードが正規品として使用可能なドローンには、必ず搭載して安全を確保した。しかし、プロペラガードがない機体やサードパーティ製の機体への不具合が懸念される場合は、使用しないこととした。また、プロペラガードを機体に取り付けるとメリットだけでなく、時にはデメリットもある。プロペラガードが機体に付く分、風の抵抗を受けやすくなることや、重量が増すことによるバッテリー消費も起きる。このため、以上のことを考慮したうえで飛行計画を立てる必要がある。

2.3.2 作業員役割分担

実証時の作業員は、以下の役割分担、作業内容で実施した。

(1) 建築ドローン飛行管理責任者

ドローンの飛行において、安全な飛行や適切な建築物調査が遂行できるよう操作者に対して指示をする役割を担う。飛行時は、補助者や監視人といった作業員からの指示を適切に操作者に届ける。また、操作者が手元のプロポ、モニタを見ることが出来ないため、代わりにドローンから伝送されるカメラ映像を確認して、調査対象に対して、適切なドローンの移動やカメラの角度、もしくは、撮影環境により変化する撮影条件に適したカメラの設定を操作者に対して指示する。実証時の作業を以下に示す。



図 34 建築ドローン飛行管理責任者作業状況(左)全景、(右)モニタ映像

(2) 操作者

ドローンを適切に操作する役割を担う。ドローン飛行中は、常に機体を注視し操作に集中する。建築ドローン飛行管理責任者より受けた指示を遂行し安全な建築物調査をする。

(3) 補助者(係留装置操作者)

ドローンに付随する安全装置を操作する役割を担う。今回の実証では、1点係留、2点係留を操作した。1点係留では、係留索がドローンのプロペラに絡まないことや、ドローンの操作に影響を与えない様に操作し、ドローンの非常時には、係留を牽引した。2点係留では、屋上に上がり係留装置を保持する役割とドローンが上昇すぎて係留装置に接触しない様に確認及び指示をした。

(4)監視員

ドローンが建築物に接触することや、フライアウェイといったアクシデントがないようドローンの動きを監視する役割を担う。今回の実証では、飛行場所の側面に立ち、ドローンと調査対象の離隔を適切に保てるよう、建築ドローン飛行管理責任者に指示を出した。

(5)その他(誘導員)

飛行場所の周囲の安全確認や第3者の安全を守る役割を担う。

以上の役割分担で作業員は構成されており、飛行前には、全員が集まって、本日の作業内容や役割再確認、危険予知活動を実施してから作業に臨んだ。朝礼の様子を以下に示す。



図 35 打ち合わせ、朝礼状況

2.3.3 緊急時連絡体制

緊急時連絡は、体制表を作成し、ドローン飛行計画書に記載する。緊急時は計画書に記載した緊急時連絡体制に則り、適切に連絡する。なお、実証場所に応じて記載内容を変えた。

3 技術実証の結果

3.1 結果の 評価ポイント・方法

本実証の結果の評価を行う観点、評価ポイント及び評価方法を各実施項目に分けて記載する。

3.1.1 ドローン機材性能評価（実施項目①） 結果の評価の観点、ポイント及び評価方法

従来手法の有資格者による目視点検をドローンで置き換える場合、最大限安全に飛行させる手順として係留装置を使用することが前提条件と考え各項目の実証を実施した。従来は定性的だった7機種 of 動力性能差、係留装置の安全性を定量評価し、ドローンの有資格者による操作性の官能評価と併せて総合評価を実施した。

(ア) 安全性を第一優先とし、信頼性を必要条件と考え精度・工数・コストを比較した。

建築物外壁点検のデジタル化に使用するのに最適なドローンの性能を把握することで精度と信頼性を担保できる。

(イ) 工数：安全性を優先し係留装置の活用により工数増

(ウ) コスト：安全性を優先し係留装置の活用によりコスト増

工数、コストに関しては、工数削減、つまり省力化やコスト削減を図ることで安全性が低下する場合もあるため、トレードオフの関係となることもありえる。その場合、安全性を優先させることとなるため各種係留装置の有用性・安全性を確認した。

(1) 結果の評価の観点、ポイント

- ・ 各種ドローンについて、建築物の点検に必要な性能を項目分けし、それぞれを相対評価する。
 - ・ 係留は、係留の有無及び係留方法を撮影精度等と組み合わせ、得られた画像から、建物外壁の損傷や劣化状況の判断できるのかを絶対評価する。
 - ・ 評価項目 g、h、i、j に関しては操作者の官能評価をアンケートで抽出し、評価する。

これらを以下の観点から評価する。

(ア) 基礎性能比較

各種ドローンの機体サイズや重量、モニタサイズ、GNSS の受信数について評価する。

(イ) 機体飛行性能比較(撮影に必要な安定性)

各種機体のホバリング時や急制動時の安定性、操作性について評価する。

(ウ) 撮影影響比較 (撮影に必要な精度、環境影響確認(信頼性))

各種機体の撮影に対して精度や環境の影響について評価する。

(2) 評価方法

本実施項目であるドローン機材（各種ドローン、係留方法）性能の具体的な評価方法について、以下に示す内容で記載する。また、本実施項目で係留装置を用いる観点から、各種係留装置の操作性（安全性）比較、同作業実行可否（信頼性）、ドローンや係留装置の工数及びリードタイム比較、係留装置のコスト比較も行った。

表 24 ドローン機材性能評価 結果の評価方法【ドローンの機体性能】

評価の大項目	No.	評価の小項目	具体的な評価対象	備考	評価方法
(ア)機体基礎性能比較	a	機体サイズ実測	縦、横、斜め、高さ(mm)	スケールで計測	相対評価 (アンケート含む)
	b	プロポ、モータ重量	重量(g)	秤で計測	
	c	FPV モニタサイズ	サイズ(mm)	スケールで計測	
	d	GNSS 受信数比較	受信数比較	プロポに表示された受信数を計測	
(イ)機体飛行性能比較 (撮影に必要な安定性)	e	ホバリング試験	ホバリング時の安定性を確認	係留時の水平、垂直移動距離	相対評価 (アンケート含む)
	f	急制動試験	移動⇔静止を繰り返す際の安定性確認	静止までの水平距離	
	g	操作性比較	複数の操作者が操作し確認	複数の操作者にアンケート	
(ウ)撮影影響比較	撮影に必要な精度	h	可視画像撮影	建築物 1 面の画像を撮影し確認	絶対評価による可否判断
		i	係留方法の比較	係留なし 1 点係留 2 点係留を比較	
	環境影響確認 (信頼性)	j	比較 (環境影響)	環境条件の異なる品質の画像撮影を確認	対象素材を模したターゲット使用 取得した画像にてクラックスケール幅、3 原色、ランドルト環を確認できるかにより判断する 取得した画像を比較し、ピンボケ、白飛びしていないかを確認
(エ) 各係留装置の作業実行可否 (信頼性) 比較			係留無、1 点係留、2 点係留を比較		アンケート
(オ) ドローン、係留装置の工数及びリードタイム比較			各ドローンの起動時間と各係留装置の設置時間を比較		時間計測し比較
(カ) 係留装置のコスト比較			初期費用と人工費用を算出し、係留無、1 点係留、2 点係留を比較		積算し費用比較

(ア) 機体基礎性能比較

a) 機体サイズ実測

機体サイズの実測方法は、機体のサイズ(縦、横、斜め、高さ)をスケールを使用してミリ単位で計測する。計測する機体は、表 6 比較機体一覧に示す機体 A~G の 7 機とする。

機体のサイズは、後述する「停止までに要した移動距離(オーバーシュート、急制動)」に関連し、機体サイズが大きくなると移動距離が長くなる傾向にある。なお、機体のサイズは、係留装置を使用して外壁調査をする際に、大きい機体の場合は、操作者からは外壁に接近しているように見えるため操作者は嫌う傾向がある。

このような操作性等の観点でデメリットがある一方で、小さい機体と比較して高所における視認性は良好であるなどのメリットもある。このように、機体サイズが、活用可否の判断の一つとなり得ることから、複数機体の機体サイズを実測・比較し、評価することで、外壁調査に適切な機体サイズを把握した。

b) プロポ、モタ重量

プロポ、モタの重量は、秤を使用してグラム単位で計測する。

本項目は、プロポやモタの重量が、操作者がプロポとモタを持って操作する際の人体にかかる負担(負荷)を示す指標となることから設定している(図 34 建築ドローン飛行管理責任者作業状況(左)全景、(右)モタ映像の左図参考)。特に建築物外壁調査の場合、操作者が上昇する機体を目視するため上方を常に見上げながら連続的に飛行させることから、操作者には身体的に負荷がかかる。集中力を消耗する操作者は、一歩気を緩めると事故に至るため、極力軽いプロポとモタを選定することが求められる。

c) FPV モタサイズ

FPV モタのサイズは、モタのサイズ(縦、横、斜め)をスケールでミリ単位で計測する。

FPV モタのサイズは、ドローン状態や映像を操作者に伝えるためにあり、インターフェースの機能を表示するうえで必要である。モタのサイズ及び見え方などをアンケートで確認し、評価する。

なお、「FPV」とは First Person View の略で、一人称視点という意味である。

d) GNSS 受信数比較

GNSS 受信数は、モニタに表示された GNSS の受信数より計測する。

ドローンの自己位置を推定する方法は、GNSS より発する電波を受信することによって行っている。そのため、GNSS の受信数が多いほど自己位置を正確に推定できるとされている。自己位置推定の精度が高いことは、ドローンのホバリング時の安定性に影響を与える。そのため、自己位置推定の精度が高く、ホバリングの安定性が高いと、GNSS を使用する飛行方法の場合、安定した飛行が可能となる。

なお、当初、モニタに表示された GNSS の受信数より計測することを予定していたが、機体によってモニタに受信数が表示できる機体と確認できない機体があること、各機体を同時に計測すると機体ごとに発生する電波により電波障害が発生し、機体が正常に動作しない事象が発生した。そのため、代替案として、各機体を並べて測定する方法に変更して、実証ごとに毎回計測することとし、実証ご

との表にまとめた。

(イ) 機体飛行性能比較(撮影に必要な安定性)

e) ホバリング試験

ドローンのホバリング(空中で静止する動作)は、機体の安定性を計る上で必要となる。今回、ドローンの上下、左右方向の平面的な位置のずれ(x,y)を計測し、離陸地点からどの程度ドローンの空中での位置にずれが生じるかを計測する。計測方法は、以下とした。

- ① 機体No.A~Gの機体を使用する。(表6 比較機体一覧 参照)
 - ② 機体を2mの離隔で同時に離陸させ、高度2mでホバリングする。
 - ③ 1分間操作せずにそのまま静止する(ホバリング状態)。
 - ④ 位置のずれを目視で観察し、地上にマークする。
 - ⑤ ずれは+、-方向へそれぞれ1つずつ最大(絶対値)値をマークする。
 - ⑥ 1分後、着陸する。その際、着陸地点と地上のマークの間の距離を計測する。
 - ⑦ 操作者は、5人配置してローテーションして各機体計5回計測する。
 - ⑧ 係留装置は、係留装置が使用できる機体は、1点係留を使用して、使用できない機体は、フライウェイを考慮した場所で測定する。
 - ⑨ 機体BとDは、1点係留と2点係留の2種類を使用した測定をする。
- 計測方法のイメージを以下に示す。

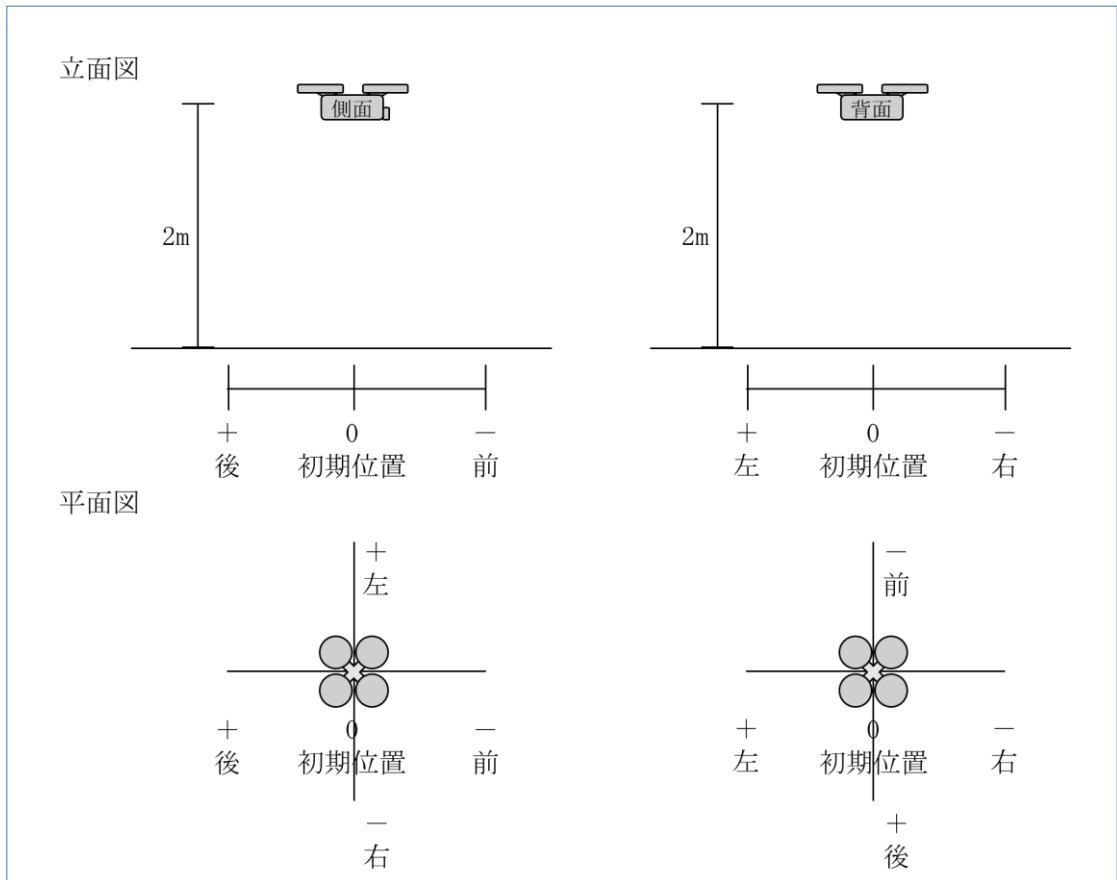


図 36 ホバリング性能比較方法

f) 急制動試験

ドローンによる建築物の外壁調査をする際、ドローンの操作性が重要となる。操作性が低い場合、最悪な状況として建築物に接触、墜落する危険性がある。一般的に、操作者が操作したとき、自在に操作できるほど事故が少ないと考えられる。そのため、操作性の評価の観点のひとつとして、停止時の変位量（オーバーシュート量）を計測する。これは、例えば自動車が急制動した際に移動する距離と類似する。このオーバーシュート量は以下のように評価できる。

- オーバーシュート量が多いと制動が弱く、操作性が低い。
- オーバーシュート量が少ないと制動が強く、操作性が高い。

計測方法は、以下とした。

- ① 機体No. A～G の機体を使用する。
- ② ドローンを高度 1m程度でホバリングさせる。
- ③ ドローンを横向きに飛行させる。
- ④ 開始の合図で加速させ、2m/s となった段階でプロポのレバーをセンターに戻す。（この動作でドローンは空中で停止する動作をする。ドローンに対してフレア(用語集を参照)操作しない。）
- ⑤ レバーをセンターに戻すのと同時に、操作者は、計測員に対し合図する。
- ⑥ 計測員が、レバーをセンターに戻した際のドローンの位置を地上にマークする（地点 A）。
- ⑦ ドローンが停止する。
- ⑧ 計測員が、ドローンの停止位置を地上にマークする（地点 B）。
- ⑨ 地点 A から地点 B までの移動距離を計測する。
- ⑩ これを 3 名の操作者が、それぞれの機体に対して 3 回ずつ実施する。
- ⑪ 各種機体ともに「1 点係留」を使用し、係留装置が使用できない機体は、フライアウェイを考慮した場所で測定した。

計測方法のイメージを以下に示す。

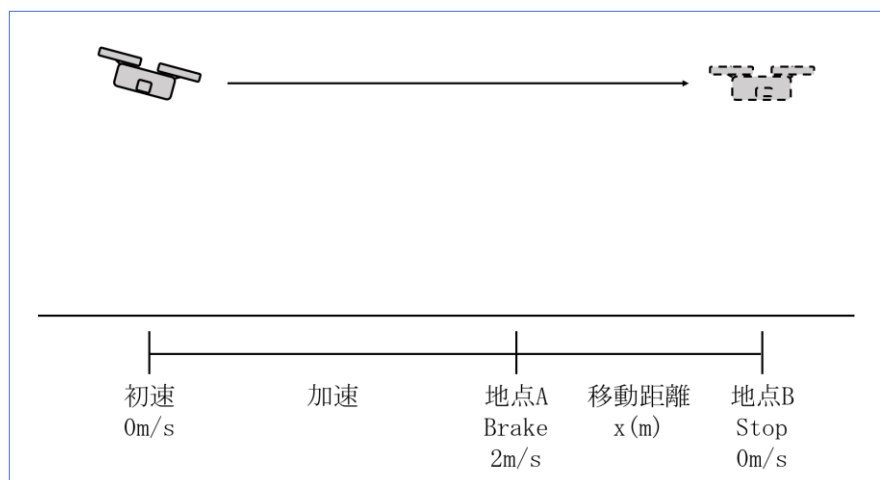


図 37 オーバーシュート量計測図

g) 操作性比較

操作性に関するアンケートを実施する。アンケートは e)ホバリング実証、f)急制動実証、及び h)可視画像撮影（精度）における各機体の操作性、安定性や安全性、モニタの見やすさ等を確認した。アンケートの対象は、飛行させた操作者、建築ドローン飛行管理責任者を対象とする。

(ウ) 撮影影響比較（撮影に必要な精度、環境影響確認(信頼性)）

h) 可視画像撮影（精度）

本項目では、ドローンで撮影した画像データが、外壁調査に使用可能な精度となっているかを定量的に比較し、評価する。

- ① 6種類の機体（機体 A～G）を比較する。
- ② 係留なし、1点係留、2点係留を使用する。
- ③ 外壁にターゲットを設置する。ターゲットは、ひび割れ（視認クラックスケール）、色調（視認三原色）及び視力検査で使用するシート（視認ランドルト環範囲）とする。ひび割れ及び視力検査シートはひび割れや環の寸法を計測し、色調は撮影画像から色彩を確認できるかを確認する。
- ④ ひび割れを撮影する。ドローンをターゲットの高さまで上昇させ、撮影する。
- ⑤ 撮影順序は問わず、建築ドローン飛行管理責任者が最も効率の良いと考える順番で実施する。
- ⑥ 実証場所の市川と熊谷でのターゲットと撮影位置イメージを図 38 に、ターゲット貼り付け状況を図 39 で示す。

上記方法で取得した画像を PC のディスプレイ上で、クラックスケールのどの幅までを視認できるか、三原色の色味の比較とぼやけ具合の比較、ランドルト環を視認できる範囲の比較を行い、適切なカメラの選定や設定方法の把握に繋げる。

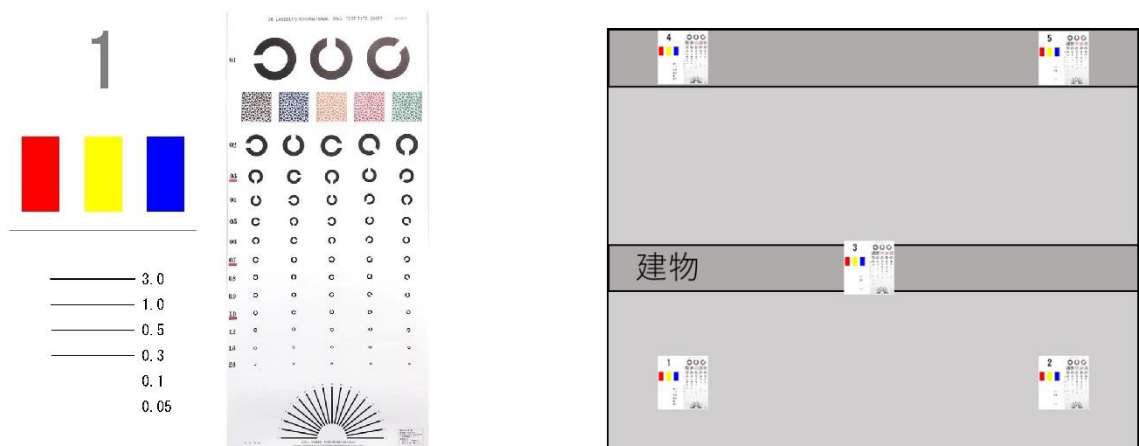


図 38 ターゲットと撮影位置イメージ図

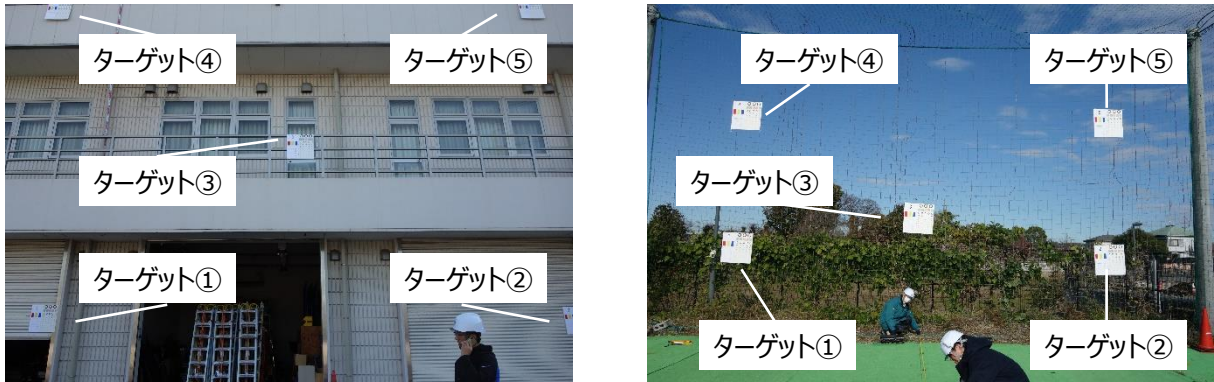


図 39 ターゲット貼り付け状況 (左)市川、(右)熊谷

今回の実証では、限りある時間内での実証になることと、ターゲット 1 は、2 と 3 と同様の高さであり、ターゲット 4 は、5 と同様の高さであることから、ターゲット 1 と 4 を撮影することで、全てのターゲットを撮影したこととした。なお、係留なしや 1 点係留のように係留装置の盛替え作業がない場合は、1 ～ 5 の全てのターゲットを撮影し、2 点係留の様な係留装置の盛替えに時間を要する場合は、1 と 4 のみターゲット撮影とした。(図 40 1 点係留、2 点係留飛行ルートイメージ図)。

2 点係留において、主策に機体を接続できない機種は、主策から係留策を取り出し、ドローンに接続して飛行することとする。2 点係留の係留イメージを図 41 係留イメージ図に示す。

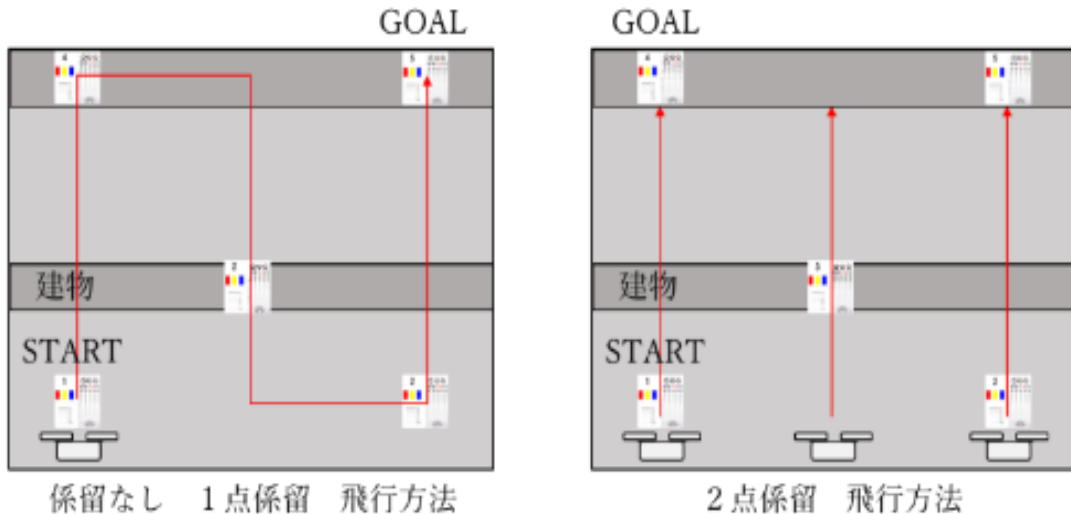


図 40 1 点係留、2 点係留飛行ルートイメージ図

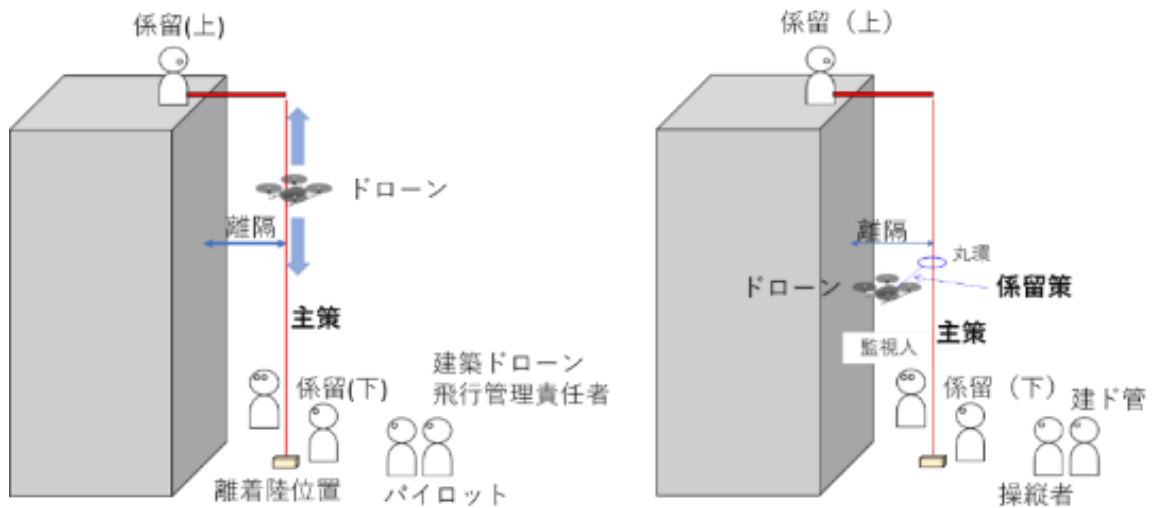


図 41 係留イメージ図

(左) 主策に直接ドローンを接続、(右) 主策から係留策を取り出し、ドローンを接続

i) 係留方法の比較

係留の比較は、「1 点係留」、「2 点係留」及び「係留なし」の 3 種類とした。1, 2 点係留は係留装置を使用した。係留の比較に使用する機体は、「B」及び「D」の 2 種類を使用した。この 2 種類は、中国製の最新機種と日本製の最新機種であり、形状やサイズ等も似ている部分が多々ある。そのため、比較する対象としては、適していると考えた。計測方法は、e)ホバリング性能比較と同様とし、「1 点係留」時と「2 点係留」時の 2 種類の標準偏差を比較する。

係留方法の概要を図 42 係留装置を使用した撮影イメージに示す。

また、各項目で使用した機体の対応表を表 25 ドローン機材性能評価 に、各項目の実施場所を表 26 係留比較の内容と実施場所対応表に示す。

表 25 ドローン機材性能評価 各項目の使用機体

項目名称	係留種類			昼間 夕刻 分け	備考	評価方法
	なし	あり				
		1点	2点			
e.ホバリング性能	G	A~F	B、D	-	機体に応じて係留が適用できない場合、係留なしを選択した。 2点係留に関しては、機体番号BとDのみとした。	相対評価 (アンケート含む)
f.急制動実証	G	A~F	-	-		
g.操作性	A~G	A~F	A~F	-		
h.可視画像撮影(精度)	A~G	A~F	A~F	-		絶対評価による 可否判断
i.係留方法の比較	-	B、D	B、D	-		
j.可視画像撮影(環境影響)	-	A~F	A~F	A~F	係留が適用できない場合は、室内で疑似的な環境分けをした。	

表 26 係留比較の内容と実施場所対応表

比較項目	計測方法	係留方法			具体的手法等
		無し	1点	2点	
作業実行可否(信頼性)	建築ドローン飛行管理責任者、操作者へのヒアリング(アンケート調査)	熊谷	市川	市川	作業へのリスク等を確認
可視画像(精度)	クラックスケール等撮影し得られた画像で判別	熊谷	市川	市川	h)可視画像撮影(精度)と同じ
工数・リードタイム比較	時間を計測する	熊谷	市川	市川	ストップウォッチ
コスト比較	かかるコストを算出	熊谷	市川	市川	机上での調査

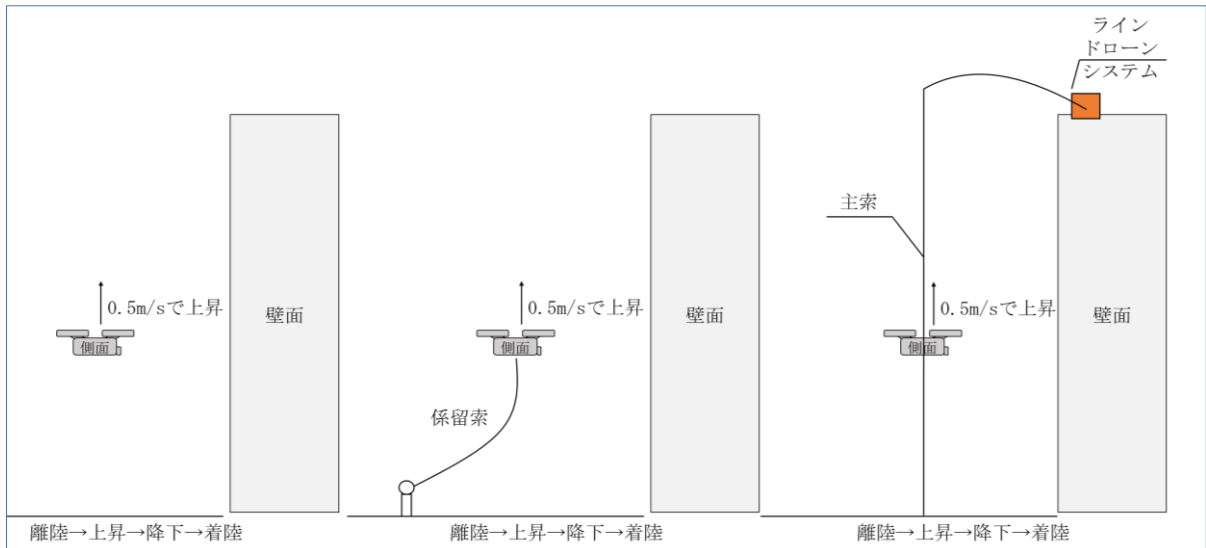


図 42 係留装置を使用した撮影イメージ
 (左) 係留なし、(中央) 1 点係留、(右) 2 点係留

j) 可視画像比較（環境影響）

可視画像比較（環境影響）は、環境の違いが画像に及ぼす影響を確認する。実際の外壁調査において考えられる昼間と夕刻の照度の差や、風の強さなどを異なる条件として考え、ドローンを飛行させ、ターゲット 1 と 4 に対してカメラ撮影を実施した。6 種類の機体を比較対象とし、撮影した画像を比較し、評価した。ドローンによる建築物外壁近傍の撮影は、1 点係留、2 点係留を使用し実施し、壁とドローンの離隔は、5m 程度とした。

撮影方法は、一定時間ごとに自動的に撮影するインターバル撮影の場合、カメラの露出設定が変えられないことから、屋上付近のターゲット撮影時に太陽の角度によっては、適正な露出設定の写真が撮影できなくなってしまう。そのため、代替案として、適正な露出撮影ができるよう下記の方法とした。

- ・ 撮影するターゲットとして、ターゲット 1 は、2 と 3 と同様の高さであり、ターゲット 4 は、5 と同様の高さであることから、ターゲット 1 と 4 を撮影することで、全てのターゲットを撮影したこととした。そのため、撮影は、縦 1 列のターゲットを対象として、ターゲット番号 1 と 4 のみを撮影した(図 39 ターゲット貼り付け状況 (左)市川、(右)熊谷を参照)。
- ・ 撮影手順は、離陸後ターゲット 1 に移動し撮影後、上昇してターゲット 4 を撮影する。
- ・ 撮影時は、建築ドローン飛行管理責任者の指示に従いカメラを適当に設定する。
- ・ 操作者 2 名がそれぞれ 6 種類の機体を使用して、ターゲット 1 か所に対して 3 回ずつ撮影した。

3.1.2 電波環境調査（実施項目②） 結果の評価の観点、ポイント及び評価方法

(1) 結果の評価の観点評価、ポイント

建築物外壁調査時に必要な電波環境の事前調査手法の確立を図ることができるかといった観点で評価をする。また、複数機体運用時の適用限界・適用範囲の把握、複数同時作業の実現のため、建築物外壁調査における、ドローンの複数同時稼動による生産性向上を図ることができるかといった観点からも評価をする。これらの評価観点とともに、安全性を第一優先とし、信頼性を高めるための実証である。

(2) 評価方法

電波環境調査の結果の評価方法を、以下に示す。調査対象はドローンに影響のある周波数帯と電波強度とする。

表 27 電波環境調査 結果の評価方法

項目	評価項目	評価方法
a. 建物周辺の電波影響調査	機種ごとに	それぞれの項目において、各機体と送信機間の干渉影響を送信機での映像伝送状況（リアルタイムの動画が映っているか）で確認し、ステータスごとに記録し機種による影響度の違いを評価する。
b. ドローン同士の電波影響調査及び複数同時稼動による電波帯域占有確認	a 項：建物周辺の Wi-Fi 電波による干渉で操縦と映像伝送が可能かを確認	
c. 意図的な干渉波に対する、電波干渉影響調査	b 項：Wi-Fi、及び他の機体の電波による干渉で操縦と映像伝送が可能かを確認 c 項：干渉波で操縦と映像伝送が不可能になる適用限界を確認	

3.1.3 3D データ作成（実施項目③） 結果の評価の観点、ポイント及び評価方法

(1) 結果の評価の観点評価、ポイント

有資格者による目視点検を置き換える観点で設計図面と、ドローン取得データ、点群データ、目視点検結果等を比較することの効率性の観点から評価を行う。この評価においても、安全性を第一優先とし、信頼性を必要条件と考え精度・工数・コストを比較した。

具体的には、建築物外壁点検を有資格者が現地に行くことなく、ソフトウェア上で効率的に、高い精度で経年劣化、損傷、外壁の凹凸などの変状を比較、確認することができるか検証する。

工数・コストに関しては、3Dデータ作成のためのドローンによる外壁画像取得と点群データ取得のための工数とコスト、及び3Dデータ作成等に使用するソフトウェアと高性能PCの工数とコストは増える可能性が高いが、上記の精度の確認を優先する。

(2) 評価方法

実証の方法で示した3つのパターンについて、以下のとおり評価する。

a) 建物の設計図面から作成した3Dデータとドローンで取得した点群データから作成した現状の建物の3Dデータとの比較

設計図面から作成した3Dデータと現状のデータを重ねて差分を抽出することで、下記の可能性を早期に発見できる可能性があるかどうかを評価する。

- ・地震や自然災害等で建物全体に影響が出ている可能性
- ・地盤沈下が起こっている可能性
- ・前年度との比較やそこから将来的に建物がどうなるかの予測

b) 建物に疑似的に変状を発生させてドローンから取得したデータでどの程度判断できるかの確認

1回目の現状データと、変状を想定して取得した2回目のデータを重ねて差分を抽出する事で下記の劣化や変状を抽出できる可能性がある。また、飛行方法によってどの様にデータが変化するかを実証し、最適な方法を模索する。

- ・外圧や経年劣化による建物の形状変化
- ・建物全体の傾きや沈下などの変化
- ・前年度との比較による将来予測

c) 建物の写真から 3D データを作成し、経年劣化や損傷を PC 画面上で判別できるかの確認
 写真データから作成した 3D データを作成しそのモデルから経年劣化、損傷を目視で検査しひび割れや建物の外傷をどれだけ抽出できるのかを実証する。抽出出来る可能性のある劣化、損傷を下記に記載する。

- ・ タイルのひび割れ
- ・ タイルの剥離
- ・ 外壁表面の色褪せやカビ
- ・ 目地のコーキングの状態
- ・ 手すりなどの錆
- ・ エフロレッセンス

上記の a)～c)によって建物点検における 3D データが従来の方法と比べて優位な部分を整理する。
 また 3D データのメリット・デメリットとして下記の表が想定されるが実際に実証して精査を行う。

表 28 3D データ活用のメリット・デメリット

メリット	デメリット
<ul style="list-style-type: none"> ・建物全体をイメージしやすい。 ・設計と現状の比較が可能。 ・建物の位置関係を比較する事が可能。 ・データで保存しておけるので有事の際に元の状態を確認することが可能。 ・ハザードマップの作成。 	<ul style="list-style-type: none"> ・データ量が大きいため PC 等への負荷が生じる。 ・ドローンでのデータ取得が困難な場合がある。 ・インターネット環境がないと活用しにくい。 ・3D 設計モデル作成に工数がかかる。 ・点群の処理に工数がかかる。

3.1.4 AI 解析（実施項目④） 結果の評価の観点、ポイント及び評価方法

(1) 結果の評価の観点、評価のポイント

有資格者（1, 2 級建築士、特定建築物調査員）が、外壁タイル等に剥落等がないか、又は著しい白華、ひび割れ、浮き等がないか、必要に応じて双眼鏡等を使用して目視により確認し、記録した静止画データを現場から持ち帰ったうえで PC 画面上にて再確認する現状の方法に対して、ドローンにより取得した画像を AI 解析することによる代替・省力化の可能性を評価する項目が必要となる。「新技術を活用した検査の実証」のため目視点検の労務稼働（＝工数・コスト）をどの程度削減が可能であるか、また、それを目視点検と同程度の信頼性を担保するのがどのレベルなのか、という観点で下記の（ア）（イ）（ウ）及び（2）の評価方法で実証を進める

なお、結果の信頼性は、AI 解析による壁面の異常の検出精度が人による点検と同等の精度で実施できるかといった観点での評価となるため、精度に依存する。また、コストは、工数の削減による人件費削減が主であるため、工数に依存する。そのため、本実施項目では精度と工数について評価を行うこととした。信頼性とコストについては精度と工数を基に間接的に評価される。

以上を踏まえて、以下の 3 種類の実証を実施し、評価を行う。

（ア）AI解析の基本性能・撮影条件（基本実証）

有資格者による目視点検の結果発見された異常のAI解析プログラム上での解析結果を基に、精度・信頼性の観点から現状業務との代替可能性の評価を行う。

（イ）ドローン撮影の省力化・AI解析の適用範囲（比較実証）

ドローンによる壁面点検に係る有識者からの要望を基に、ドローン撮影業務の省力化及びAI解析の適用範囲の評価を行う。

（ウ）作業者の負担軽減（省力性実証）

AI解析を活用した目視点検に要する時間を基に、工数・コストの観点から現状業務との代替可能性の評価を行う。

(2) 評価方法

AI 解析結果の評価は、以下に示す内容により実施する。なお、評価に用いるアウトプットの取得方法及び評価方法の詳細は後述する。

表 29 AI 解析 結果の評価方法

実証項目		アウトプット	評価方法
基本実証		<ul style="list-style-type: none"> ● 解析結果ヒストグラム ● 検出率とスクリーニング率 ● 出力画像 	<ul style="list-style-type: none"> ● 検出率を従来の目視点検と比較 ● スクリーニング率を目標と比較 ● 撮影条件ごとに比較
比較実証	① 動画撮影の適用実証	<ul style="list-style-type: none"> ● 解析結果ヒストグラム ● 検出率とスクリーニング率 ● 出力画像 	<ul style="list-style-type: none"> ● スクリーニング率を基本実証と比較
	② ズーム撮影の可能性実証	<ul style="list-style-type: none"> ● 解析結果ヒストグラム ● 検出率とスクリーニング率 ● 出力画像 	<ul style="list-style-type: none"> ● スクリーニング率を基本実証と比較 ➢ ズーム 2 倍 ➢ ズーム 8 倍
	③ 撮影距離に関する検討	評価を行うために十分な撮影データが確保できなかったため、AI 解析による実証の対象外	
	④ 傾き撮影の適用実証	<ul style="list-style-type: none"> ● 解析結果ヒストグラム ● 検出率とスクリーニング率 ● 出力画像 	<ul style="list-style-type: none"> ● スクリーニング率を基本実証と比較
	⑤ 異なる壁面素材の適用実証	<ul style="list-style-type: none"> ● 解析結果ヒストグラム ● 検出率とスクリーニング率 ● 出力画像 	<ul style="list-style-type: none"> ● スクリーニング率を基本実証と比較 ➢ セメント面のみ ➢ セメント面とタイル面
省力性実証	工数比較	<ul style="list-style-type: none"> ● 工程ごとの所要時間 	<ul style="list-style-type: none"> ● 人の作業時間を従来点検と比較

(ア) 基本実証

有資格者（1, 2 級建築士、特定建築物調査員）による目視点検の結果発見された異常に関する AI 解析プログラム上での解析結果を基に、精度・信頼性における現状業務との代替可能性の評価を行う。

a) アウトプット

2.1.5 (2)AI 解析手順にて述べた通り、今回使用した AI 解析プログラムは画像データを入力とし、各画像データに対する異常スコアと分類結果を出力する。一方で、人による目視点検で求められる、異常の種類判別や、異常の大きさ等の判別には対応していない。

そこで、代替可能性の評価に向けて、解析結果を基に下記 3 通りのアウトプットを取得する。

- ① 解析結果ヒストグラム
- ② 異常検出率とスクリーニング率
- ③ オーバーレイ画像

各アウトプットの詳細について以下に示す。

① 解析結果ヒストグラム

I. 期待する解析結果ヒストグラムのイメージ

解析結果を視覚的に把握するために、正常データと異常データに対する異常スコアのヒストグラムを作成する。期待するヒストグラムのイメージを図 43 に示す。第一に、画像データのヒストグラムは図のように正規分布に従うことを仮定している。図 43 の左側のように、学習データの数が少なく、学習が不十分な状態であれば正常データと異常データの分布が重なり合うような結果が得られると考えており、正常と異常との区別は不可能な状態である。その状態から、正常データを学習データに加えていくことで正常データのパターンを学習し、正常データの分布が左側（異常スコアが低くなる方向）に遷移していくことで分布が分かれ、図 43 の右側のように正常データと異常データが分離したヒストグラムが得られると考えている。この場合、適切に閾値を設定することにより、正常と異常を区別することが可能となる。実際の結果が上記の仮説に従っているかどうかを基に、AI 解析の結果を確認する。

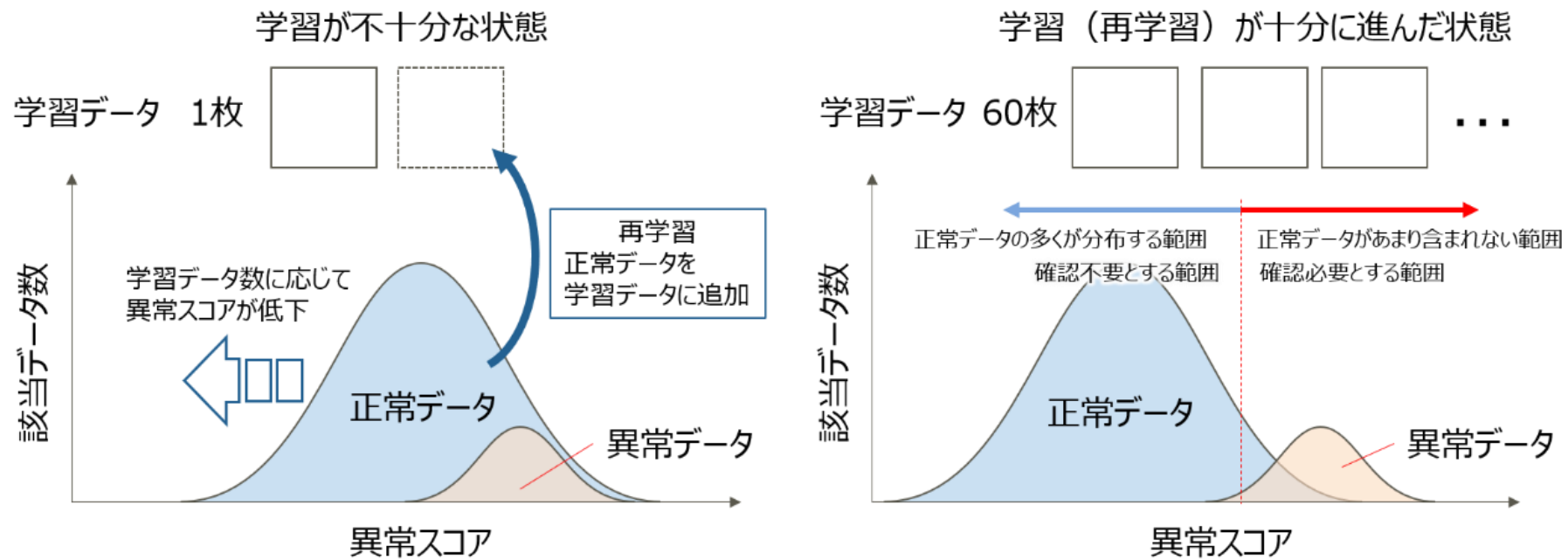


図 43 解析結果ヒストグラムのイメージ

II. 学習データと閾値の設定

閾値の設定方法として、実証結果を基に定数値を定めることが一般的であるが、本実証のユースケースでは対象となる壁面の種類によって得られる異常スコアのスケールも大きく異なるものと推測されるため、結果に応じて動的に設定する必要があるものと考えた。本 AI 解析プログラムは正常データを学習し、基準とするため、閾値の設定にも正常データを用いることが適当である。実運用において、画像データの中で正常データであると明確に示されているものは、人が一度目視で確認している学習データのみであるため、閾値の設定には学習データの解析結果を用いる。

"2.1.5 (2) にて示した通り、学習データは画像データ全体の分布に従って追加されるため、学習データの分布も全体の傾向である正規分布に従うものと仮定する。この仮定の下、学習データのほとんどが含まれる範囲として統計的に広く用いられている 95%信頼区間を算出し、その上限値を閾値として定めた。また、検討項目として 99%信頼区間に基づく閾値も定め、結果を比較した。区別のため、95%信頼区間に基づく閾値を 95%閾値、99%信頼区間に基づく閾値を 99%閾値と呼称する。ただし、学習データ数が 1 の場合においては 95%閾値と 99%閾値は学習データの異常スコアとした。AI 解析プログラムによって異常スコアが閾値以上の画像データは異常と分類され、閾値未満の画像データは正常と分類される。

解析結果ヒストグラムと閾値を図 44 に示す。

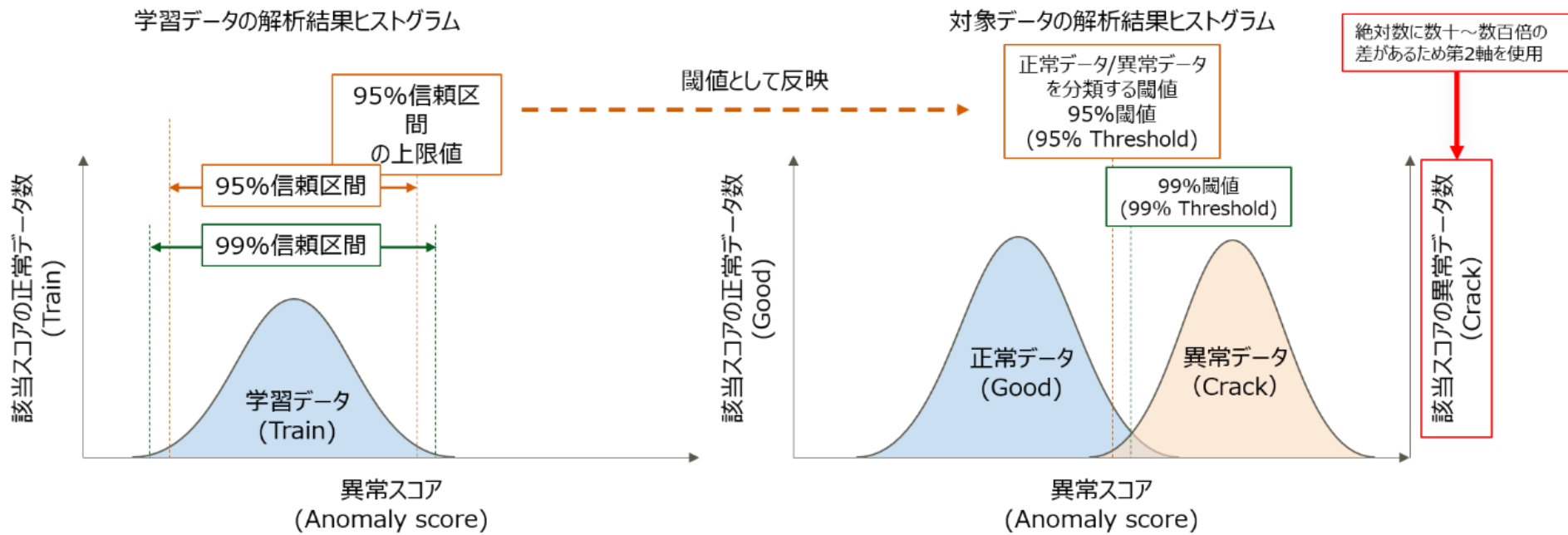


図 44 解析結果ヒストグラムと閾値

③ 異常検出率とスクリーニング率

解析結果を定量的に評価するために、異常の検出率とスクリーニング率を定める。検出率は異常データの中で、AI 解析プログラムに異常と判定されたデータの割合であり、精度評価に用いる。本実証の基本的な考え方が人による点検の代替可能性における評価のため、異常データ(特定異常)に関する検出率を指標として評価を行うが、AI 解析プログラムの可能性の検討材料として、異常データ(全体)の検出率も併せて取得する。なお、これらも異常データと同様に、検出率(特定異常)と検出率(全体)といった形で区別して呼称する。また、95%閾値の検出率と 99%閾値の検出率を区別するため、それぞれ 95%検出率と 99%検出率と呼称する。

スクリーニング率は正常データの中で、AI 解析プログラムに正常と判定されたデータの割合であり、省力性評価に用いる。本来の点検であれば、壁面の画像全てを人がすべてを目視確認する必要があるが、事前に AI 解析によって正常と判断された箇所については異常がある可能性が低いいため、表 29 に示したスクリーニング処理を加えることで目視による確認を実施する箇所を削減し、目視確認の手間を削減することができる。このようなスクリーニング処理の結果、スクリーニングされた正常データ割合をスクリーニング率と定義した。なお、95%閾値のスクリーニング率と 99%閾値のスクリーニング率を区別するため、それぞれ 95%スクリーニング率と 99%スクリーニング率と呼称する。

検出率とスクリーニング率は閾値を変更することによって変化するが、両者はトレードオフの関係にある。99%閾値は 95%閾値よりも大きい値をとるため、99%検出率は 95%検出率以下の値をとり、99%スクリーニング率は 95%スクリーニング率以上の値をとる。そのため、ユーザが精度を重視するか、省力性を重視するかによって用いる閾値は変動する。

正常と異常の分類のイメージ及び、検出率とスクリーニング率を次ページに示す。

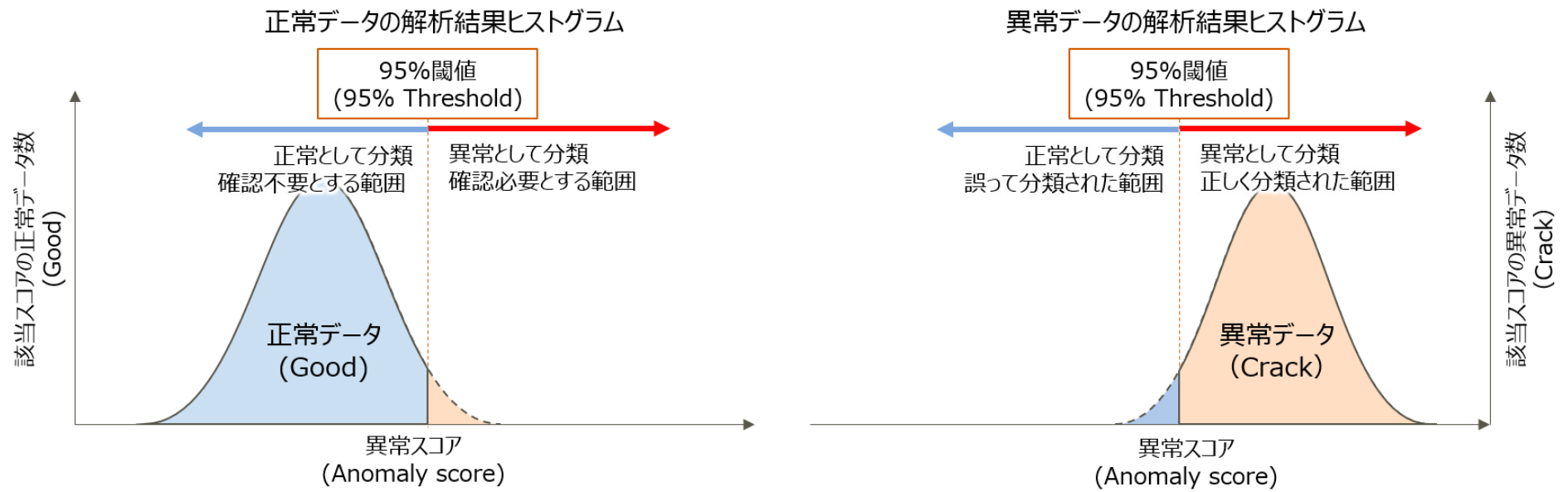


図 45 正常と異常の分類のイメージ

(検出率) = (異常として分類された異常データ) / (異常データ全体)

(スクリーニング率) = (正常として分類された正常データ) / (正常データ全体)

図 46 図 45 の表現を用いた検出率とスクリーニング率

④ オーバーレイ画像

AIによる検出結果の目視確認のために、図 26 4Kズーム撮影データに対する事前準備に示すように解析結果を合成（結合）したオーバーレイ画像を出力する。スクリーニング結果の表示と異なり、ピクセル単位での解析結果を出力した。

AI 評価用画像出力を以下に示す。

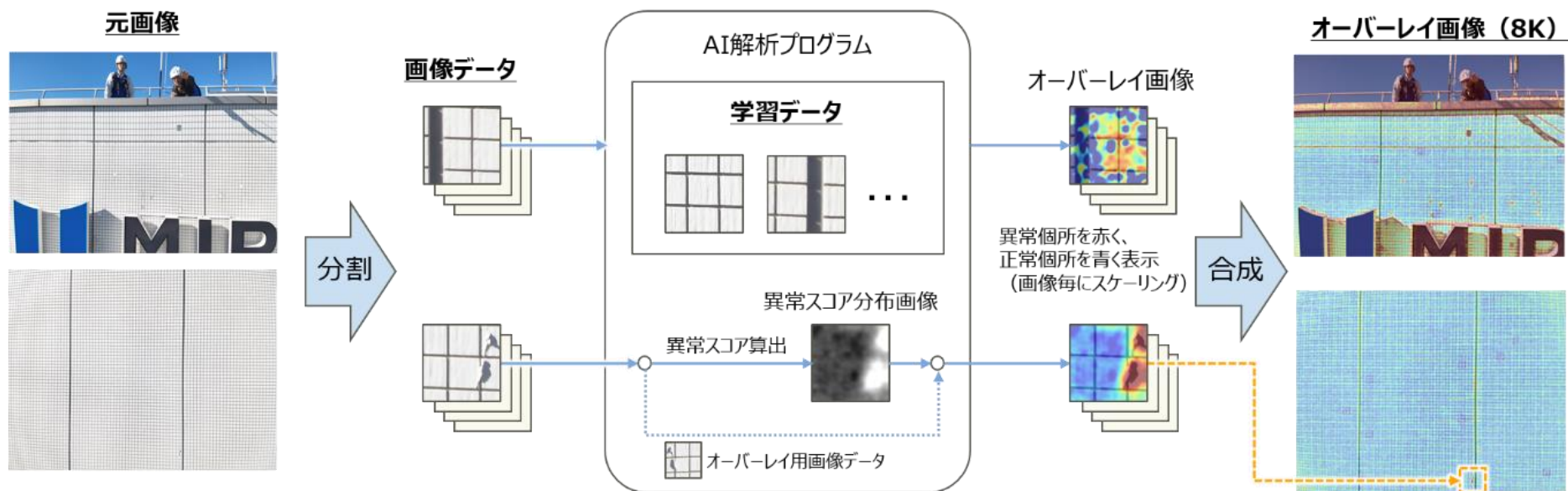


図 47AI 評価用画像出力

b) 評価方法

① 従来の目視点検との比較

人が発見できた異常を AI が検出できているか、検出率（特定異常）を基に評価する。検出率については人と同等となる 1（100%）を目標として実測値と比較する。

② スクリーニング率を目標と比較

スクリーニング率について、技術的な実現の可能性と実運用を想定した診断にかかわる作業負担を考慮して 0.8（80%）を目標値として、実測値との比較をする。

③ 撮影条件ごとに比較

撮影条件の異なるデータに対するアウトプットを比較して、AI 解析に適した壁面や撮影条件について評価する。

(イ) 比較実証

ドローンによる壁面点検の有識者からの要望を基に、ドローン撮影業務の省力化の評価（以下検証項目の①④が該当）及び AI 解析の適用範囲の評価（以下検証項目の②③⑤が該当）を行う。具体的には、ドローン撮影時の撮影条件を変更した場合や点検の対象となる壁面素材を変更した場合に AI 解析の性能にどのような影響が出るのかを確認する。なお、比較実証の対象とした画像データはビル全体の一部分に限定されており特定異常が少ないため、検出率の取得は行うが基本実証との比較にはスクリーニング率を用いる。

① 動画撮影の適用実証

4K 動画撮影データを基に作成した画像データに対して AI 解析を行い、動画撮影データに AI 解析が適用可能かを実証する。適用可能であった場合、同じ撮影範囲の基本実証結果と比較する。

② ズーム撮影の可能性実証

4K ズーム撮影データを基に作成した画像データに対して AI 解析を行い、同じ撮影範囲の基本実証結果と比較する。結果はズーム倍率ごとに確認する。

③ 撮影距離に関する検討

適切なデータが撮影できなかったため AI 解析を実施しない。

④ 傾き撮影の適用実証

8K 傾き撮影データを基に作成した画像データに対して AI 解析を行い、同じ撮影範囲の基本実証結果と比較する。

⑤ 異なる壁面素材の適用実証

異なる壁面素材の画像データを対象データとして AI 解析を行い、異なる壁面素材(セメント面)の画像データに AI 解析が適用可能かを実証する。さらに基本実証にて対象としたタイル面も対象データに追加して AI 解析を行い、複数の壁面素材で構成される壁面に対する AI 解析が可能かどうか実証する。

(ウ) 省力性実証

AI 解析を活用した目視点検に要する時間を基に、工数・コストにおける現状業務との代替可能性の評価を行う。具体的には、2.1.5（7）省力性実証に示した手順を基に、AI 解析を活用した目視

点検に要する時間を取得し、既存点検の所要時間との比較を行う。ドローンによる点検におけるAI解析なしの場合とAI解析活用の場合のそれぞれにおいて、以下の2種類に工程ごとに所要時間を合算することで、点検方法ごとの全工程合算（①+②）の所要時間の比較と、人を作業によって拘束する時間（①のみ）の比較の2種類の比較を行う。

- ① 人によるオペレーション
- ② 計算機（PC）上の処理

比較結果を基に、点検業務における人の拘束時間をどれだけ削減できたのかを省力性の指標として評価する。

3.2 結果及び評価・分析

3.2.1 ドローン機材性能評価（実施項目①）

本実施項目の評価方法は、機体基礎性能比較、機体飛行性能比較、撮影影響比較、各種係留装置の操作性（安全性）比較、同作業実行可否（信頼性）、ドローンや係留装置工数及びリードタイム比較、係留装置のコスト比較により行うこととした。これらをまとめた総合評価も示す。

(ア) 機体基礎性能比較

各種機体（6種類；表6 比較機体一覧に示す）の性能を比較し、実証の基礎情報を得る。比較する機体の性能の内容は、以下に示す内容とする。結果を表31に示す。

表 30 機体基礎性能比較項目と計測方法

No.	比較項目	計測方法	備考
a	機体サイズ実測 （縦、横、斜め、高さ）(mm)	スケールで計測	—
b	機体、プロポ、モニター重量(g)	秤で計測	—
c	FPV モニタサイズ (mm)	スケールで計測	見やすさもアンケートで確認
d	GNSS 受信数	プロポに表示された受信数を計測	当初は、各機同時に一定時間（3分間）受信した結果を比較することを想定していたが、機体によって GNSS 受信表示が表示される機体とされない機体があること、同時起動による電波障害により機体が正常に動作しないことから、代替案として、実証ごとに受信数を計測した。

表 31 各種比較結果表 (サイズ、重量、GNSS 受信数)

機体比較								
大項目	機体	A	B	C	D	E	F	G (参考)
	計測箇所							
a) 機体サイズ(mm)	縦	520	550	1,130	560	889	475	347
	横	520	632	1,255	635	885	587	420
	斜め	625	695	1,435	739	1,078	670	465
	高さ	198	105	419	147	530	115	123
b) 重量(g)	機体	1,460	1,038	7,145	1,420	6,820	1,232	788
	プロポ	719	679	1,166	625	1,071	1,425	387
	モニタ	299	プロポ一体型	プロポ一体型	213	299		299
	プロポ+モニタ	1,018	プロポ一体型	プロポ一体型	838	1,370		686
c) モニタサイズ(mm)	縦	120	70	70	60	120	120	120
	横	160	120	120	140	160	160	160
	斜め	200	140	140	155	200	200	200
d) GNSS 受信数 (3 分間)		11~14	11~14	22~26	22~26	8~10	15~17	表示なし

a) 機体サイズ実測

① 結果

機体サイズの計測結果を表 31 に示し、機体のサイズ実測状況を以下に示す。

② 評価・分析

表 31 の結果より、機体の大きさに関して、小型、中型機に比べ大型機は、様々な性能があるカメラを条件ごとに変更させることができる為、大型でなおかつペイロードがある機体となっている。小型、中型機は、サイズが小さいことから、操作者と機体の距離が遠いと機体の位置把握が難しくなってしまう、最悪の場合、操作者の視認範囲を外れ、機体を見失ってしまう可能性がある。大型機体は、サイズが大きい分、ある程度の距離までであれば、機体の飛行位置の把握が可能となる。

しかし、一般的に普及されていて使用頻度の高い機体は、基本的に小型、中型機体となるため、普段使い慣れていない大型の機体を飛行させることは、操作者のストレスにつながる。例えば、普段、軽自動車を運転する人が、大型のバスを急遽運転するような緊張感がある。

建築物点検における機体のサイズ選定は、点検内容に左右される。一般的な可視カメラを使用する点検の場合は、小型、中型機の既存のカメラを使用する。赤外線装置を使用する点検や高性能カメラを使用する点検の場合は、大型の機体を使用し、点検に適したカメラを取り付けて点検する等の選定が必要となる。



図 48 機体サイズ実測状況

b) プロポ、モニタ重量

① 結果

プロポ、モニタ重量の計測結果を表 31 に示し、プロポ、モニタの重量計測状況を以下に示す。

② 評価・分析

表 31 の結果より、プロポ、モニタの重量に関しては、モニタサイズに比例して重量も重くなること
が分かる。重量が重くなるにつれ操作者の負担も増すことから、軽いものを選定する、若しくは、ネ
ックストラップ等で荷重を分散する等により対応する必要がある。

また、プロポ、モニタの種類によっては、プロポとモニタが一体化している物と分離する物に分かれ
る。分離するものの多くは、モニタの役割を市販されているスマートフォンやタブレット端末といった物
が担っている。建築物点検におけるプロポ、モニタの選定は、基本、使用する機体に対応したプロ
ポとなるため選択肢は少ないものの、操作者の操作のしやすさや負担をヒアリングし、個々の判断
により選定する必要がある。

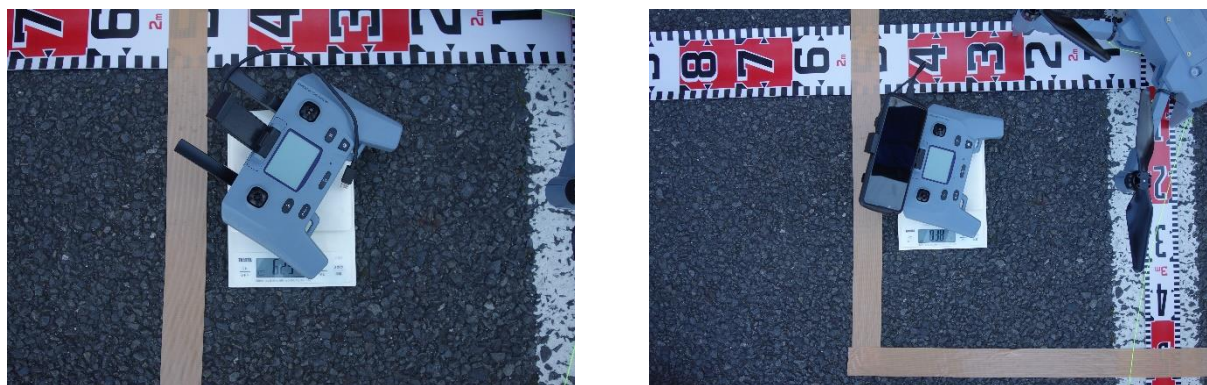


図 49 プロポ、モニタ重量計測状況

(左：送信機のみ・右：送信機とフライトコントローラー用スマートフォン)

c) FPV モニタサイズ比較

① 結果

FPV モニタサイズの計測結果を表 31 に示し、モニタの計測状況を以下に示す。

② 評価・分析

以下に FPV モニタサイズに係るアンケート結果及び同結果に基づく評価・分析結果を示す。

モニタ、インターフェースの見やすさに関するアンケート結果を表 32 に示す。アンケートは、各実
証でドローン进行操作した操作者と、ドローンの動きやドローン搭載のカメラ映像を確認する建築ド
ローン飛行管理責任者に行った。表の文字の色分けについては、青色を良い評価とし、赤色を
悪い評価とする。

【モニタサイズについて】

FPV モニタサイズに関しては、小型のプロポやスマートフォンをモニタとして使用するタイプのプロ
ポは、モニタサイズが 7 インチ程度であり、小さいものとなっている。一方、プロポ一体型のモニタや
タブレット端末をモニタとして使用するプロポは、モニタサイズが 9 インチ以上など大きい。建築物の
外壁調査において、ターゲットを撮影するときは、基本、JADA で定める建築ドローン飛行管理

責任者がモニタ画面を見る必要がある。そのような場合に、モニタ映像を HDMI 等で大型のモニタに映すことが可能であると、建築ドローン飛行管理責任者が、カメラ映像を確認しやすい。しかし、プロポによっては、HDMI 等に対応せず、操作者の隣で小型のモニタを確認しなくてはならない。その場合は、操作者もある程度、建築ドローン飛行管理責任者が見やすいようにプロポを傾け、互いに近づかなくてはならないため、操作者にも建築ドローン飛行管理責任者にも負担がかかる。

アンケート結果より、FPV モニタサイズに関して、モニタが小さい機体 D は、見づらさを感じ取った。逆に、モニタが大きい機体 B、C は見やすさを感じたようだ。また、見やすさの基準としては、モニタの大きさ以外に、野外で使用するからモニタの光度も影響する。光度が低いと、モニタに差し込む光でモニタの視認性が下がり、逆に光度が高いと、野外であってもモニタの視認性は上がるようであった。その他の意見として、建築ドローン飛行管理責任者からは、モニタ映像を手元の大型モニタで確認して、操作者に適宜指示を出すため、モニタ映像を手元の大型モニタに出力できるか意見があった。その点から、機体 D、G については、HDMI の出力が出来なかった。上記のモニタ映像の見づらさについては、操作者や建築ドローン飛行管理責任者からすると、点検をする際のストレスに繋がることや、モニタ映像の視認性により撮影における的確な指示が出せなくなる可能性がある。

【インターフェースについて】

インターフェースに関しては、メーカーや機体により様々な独自のインターフェースが採用されている。インターフェースによっては、海外メーカー製のため日本語訳がされていない場合や、日本語訳がされていても翻訳が十分でない場合がある。また、機種によっては、ドローンのフェールセーフを一目見て操作できるものもあれば、そうでないものもある。後者の場合は、フェールセーフの設定に一苦労する場合や、準備時間に大幅な遅れをきたす場合もある。

【その他の評価の傾向】

アンケート結果より、普段使用しているモニタやインターフェースが一番慣れており、普段使用しない機体になるとインターフェースの見づらさや操作に戸惑いを感じるようであった。そのため、普段一般機体として使用されることの多い機体 A、B、C の評価が高くなった。これらの機体は、世界的なシェア率が高い機体であるため、他者が使用しても同様の意見になると思われる。逆に普段使用しない機体 D、E、F や表示言語が異なる機体 G は、UI の違いや、設定方法の違いがあり、使用者も戸惑いを感じたようだった。また、タッチパネルに関しては、モニタごとに感度が違う為、タッチしても反応しないことがあったようだ。その他の意見として、プロポの種類によっては、写真を撮影するとプロポからシャッター音が鳴る。

しかし、シャッター音が鳴らない場合は、写真を撮影しているかがわからない。そのため、シャッター音やモニタ映像を確認して写真撮影したことを確認する操作者や建築ドローン飛行管理責任者は、撮影したことがわからない。最悪の場合は、撮り忘れに繋がる可能性がある。

以上から、建築物点検に使用する機材の選定において、プロポやモニタについては、モニタの視認性や HDMI 等の付属される機能、重量より点検に必要な機能が備わった物を選定する。インターフェースについては、使用される作業員の操作のしやすさやわかりやすさより選定する。そのため、選定の基準は、使用する作業員の判断に委ねられる。

建築物点検に使用する機体、プロポやモニタ、インターフェースを購入する際は、想定される点検方法と機材を使用する操作者や診断者へのヒアリングを基に、必要な要件を満たす機材を選定しなくてはならないため、実際に機材を使用する作業員の判断基準を基に、機材を販売する会社や各種展示会で実際に機材を試し、購入することが考えられる。



図 50 モニタの計測状況



図 51 実証時モニタ確認状況 (左)大型モニタ(右)手元モニタ

表 32 プロポモニタ見やすさ・インターフェースの分かりやすさ 各機体の操作性アンケート

青文字：優れている点

赤文字：悪い点

プロポモニタ見やすさ・インターフェースの分かりやすさ 各機体の操作性アンケート							
機体	A	B	C	D	E	F	G
操作者							
①	ドローンで基本的な構成（プロポ、iPad）となりますが、機能的にはインターフェースや管理用ソフトも見やすいですが、最新で販売されている専用ディスプレイ送信機ではないので、少し光度が低く照度が高いと見えにくい時があるかと思えます。機材のバージョンによっては、HDMI の出力ができないまたは、コネクタが異なる可能性があるので注意は必要かと思えます。	今回、専用ディスプレイ送信機となるため、光度が高く非常に画面は見やすくなります。HDMI 端子もついてるので、外部モニタには出力しやすく簡単に確認可能かと思えます。今回実施の WIDE カメラでは、フォーカスが使用できないので、精度がどうかと感しました。2 点係留用に ATTI に切替可能ですが、ドローンをされてない方には変更の方法が分かりにくいのではと感じております。	専用ディスプレイ送信機となるため、非常に現場で見やすいかと思えます。また、2 オペでの送信機ディスプレイから HDMI を接続すると、監視用モニタとケーブルを考慮せず実施することが可能となります。産業機体のドローンでは非常にやりやすい機体とインターフェースかと思えます。	標準プロポでは、対応スマートフォンが、Sony Xperia 5- II、Sony Xperia 1- II となり、ディスプレイが小さいので見づらくなってしまいます。モードの切替が、監視用ソフト上では設定ができませんので、プロポ側設定なので、手間が生じます。監視用ソフトでは写真の設定露出の設定は、設定タブから設定と飛行させながら少しやりやすく感じます。少し監視用ソフトが分かりにくいので、慣れるには時間を要するかと思えます。撮影時のシャッター音ははっきり聞こえるので、撮影時の漏れなどは明確になるかと思えます。	プロポは他機種に比べると非常に大きいので、長時間持つには疲れかなと思います。また、監視用ソフトは各項目のタップボタンがあるため、分かりやすいかと思えます。撮影時に、搭載した一眼レフカメラが撮影した音などが聞こえないため、操作者が撮影されたか分からなくなってしまう（ディスプレイに少し表示されるが、ディスプレイを凝視すると目視外となってしまうため）そのため、撮影時の撮影漏れを非常に気にしてしまうかと思えます。実装カメラを選定できるので、カメラとレンズ次第で高品質な撮影を実施可能とはなりますが、機体のフライト時間（バッテリー）が短いため、長時間には点検には不向きとなります。	監視用ソフトは、詳細内容などはタブなどに隠れており、普段ドローンを実施しない方などには分かりにくいかと思えます。また、写真撮影をした際に、カメラのシャッター音がしないため（アンドロイド側で設定可能？）撮影されたかどうか分からない状態となります。そのため、撮影時の撮影漏れを非常に気にしてしまうかと思えます。	監視用ソフトについては、全てが英語表記となるのと、VisualSLAM メインでの機体となりますので、普段のドローンと設定内容等が違うため本機体を触られてない方は難しいかと思えます。他機種に比べて勝手が異なるため（プロポのタブレットホルダーを開くと電源立ち上げ）、慣れるには時間を要するかと思えます。
②	機体 C や機体 B と違う UI なので、先に機体 C や機体 B を触ってから、機体 A の設定(露出の数値変更など)を使用すると一瞬ですが考えてしまいました。	癖がなく使いやすかと思えます。光度も十分にあり撮影には異常はありませんでした。	機体 B 同様に特に異状なく使いやすいかと思えます。	今回使用した標準プロポですがモードを変更するのに電源を落とさないと変更できなく時間がかり、また接続までも他機種に比べ長いと感じました。スマホのアプリのタッチの反応も悪く触っても反応しない時が多々ありました。カメラの露出設定もすぐに変更できず、何回かタップしないといけないのが操作しにくいと思いました。	プロポ本体が重たいので長時間の作業は疲れやすいと感じました。UI は大きく表示されるので操作ミスがしにくくホバリングしながらの操作もやりやすかと感じました。ただ、撮影したときにシャッター音がしないので撮影が、できているのか分かりにくいと思いました。	タッチパネルの反応が悪いときがあり、設定を変更できない時がありました。モニタの見やすさは特に違和感なく見ることが出来ました。	設定が全て英語で表示されるので、どれがどの設定か分かりにくく慣れが必要だと思いました。
⑤	見やすさ・操作性は普通。	見やすさ・操作性良好。	見やすさ・操作性良好。	送信機に HDMI 端子がない事、モニタサイズが小さい事から確認しにくかった。露出変更時のアプリの操作性が悪い。	見やすさ・操作性は普通、焦点を合わせる操作が複雑なのか、離陸は前面の壁面に焦点が合っていない状態で行った。	送信機のモニタが一番大きく見易い、操作系は DJI の方が直感的で操作しやすい。	送信機に HDMI 端子がない事、モニタサイズが小さい事から確認しにくかった。

d) GNSS 受信数比較

① 結果

GNSS 受信数の計測結果を表 34 に示し、GNSS の受信数計測状況を以下に示す。

② 評価・分析

GNSS については、機体ごとに受信する衛星が違う。現在、各ドローンが捕捉する衛星の種類は、打ち上げ衛星の多い順から、アメリカの GPS、ロシアの GLONASS、中国の北斗、EU の Galileo となる。日本では、準天頂衛星の QZSS が挙げられる。一昔前の機体では、捕捉できる衛星に限りがあった。しかし、近年の機体では、捕捉できる衛星数が増え、GNSS も安定した数を捕捉できるようになっている。また、日本製の機体においては、準天頂衛星の QZSS を捕捉できる。今回の実証結果では、捕捉可能な衛星種類が多いほど、捕捉した衛星数が多くなった。



図 52GNSS の受信数計測状況

(イ) 機体飛行性能比較

機体飛行性能比較では、6 種類の機体を飛行させ、e)ホバリング性能、f)急制動、g)操作性を比較する。

表 33 機体飛行性能比較項目及び評価方法等

No.	比較項目	評価方法概要	期待される効果
e	ホバリング試験	各機体をホバリングさせ、変位量 (x,y) を比較する	飛行時の水平、垂直方向の移動 (変位) 量が推定でき、画像のラップ率などに反映できる
f	急制動試験	一定速度で飛行中、急停止操作から停止までに要した移動距離を計測(オーバーシュート)(m)	撮影しながら飛行する際に、生じる上下左右への移動の安定性を確認できる
g	操作性比較	アンケートを実施する	操作ミスから生じる事故リスクを把握

e) ホバリング性能比較

① 結果

計測結果を表 34 ホバリング性能比較とグラフ (図 53) に、計測状況を図 54 に示す。計測結果の数値の色分けについては、青色が各機体の中で一番標準偏差(用語集参照)が小さかった数値、赤色が各機体の中で一番標準偏差が大きかった数値となる。

② 評価・分析

ドローンによるホバリング性能は、機体のビジョンセンサや GNSS の測位精度、VisualSLAM 等による。本実証で使用する機体の場合、ビジョンセンサや GNSS の測位精度によるものが多いが、機体 G (参考) は VisualSLAM を主として動作する。今回の計測結果からは、概ねどの機体も大きな偏差を確認できないことから、安定したホバリング性能を有していることが確認できた。しかし、機体 D については、偏差が大きく確認された。これはホバリング性能が脆弱であることを示し、原因として基本的な制御性能のみならず GNSS の受信数が少ないことや、実証時の風速が最大で 3.3m/s あったことから、風に流された可能性がある。

表 34 ホバリング性能比較

計測時間 1min		A		B		C		D		E		F		G (参考:係留なし)	
		移動距離(cm)		移動距離(cm)		移動距離(cm)		移動距離(cm)		移動距離(cm)		移動距離(cm)		移動距離(cm)	
操作者①	前後	-10	5	-5	0	-5	0	0	40	0	10	0	0	0	0
	左右	20	0	0	-5	0	-5	5	-65	15	-5	0	-5	10	0
	標準偏差	11		3		3		38		8		2		4	
	風速(m)	MAX 0.0	AVG 0.0	MAX 1.6	AVG 0.7	MAX 1.4	AVG 0.7	MAX 1.5	AVG 0.5	MAX 1.6	AVG 0.7	MAX 0.0	AVG 0.0	MAX 1.2	AVG 0.3
	GNSS	9		21		16		11		12		-		-	
操作者③	前後	-10	0	0	0	0	0	0	40	-5	10	-15	0	0	0
	左右	10	-5	0	-5	0	-5	25	-5	10	-20	0	-5	10	0
	標準偏差	7		2		2		18		12		6		4	
	風速(m)	MAX 0.0	AVG 0.0	MAX 1.0	AVG 0.4	MAX 0.9	AVG 0.6	MAX 1.5	AVG 0.5	MAX 1.0	AVG 0.4	MAX 0.5	AVG 0.0	MAX 0.9	AVG 0.3
	GNSS	9		21		19		13		13		-		-	
操作者⑤	前後	-10	0	0	5	0	0	0	40	-5	15	-15	0	0	0
	左右	5	0	5	0	0	0	50	0	15	-5	10	0	5	0
	標準偏差	5		3		0		23		10		9		2	
	風速(m)	MAX 1.7	AVG 0.7	MAX 1.4	AVG 0.5	MAX 0.7	AVG 0.3	MAX 1.5	AVG 0.5	MAX 1.4	AVG 0.5	MAX 1.7	AVG 0.7	MAX 1.1	AVG 0.5
	GNSS	9		24		24		15		11		-		-	
操作者④	前後	-5	5	0	0	0	0	0	150	-5	0	-15	0	-5	0
	左右	0	-5	10	0	0	0	305	0	20	-10	10	0	10	0
	標準偏差	4		4		0		126		11		9		5	
	風速(m)	MAX 0.5	AVG 0.3	MAX 1.3	AVG 0.5	MAX 1.0	AVG 0.6	MAX 3.3	AVG 0.7	MAX 1.3	AVG 0.5	MAX 0.5	AVG 0.3	MAX 0.7	AVG 0.3
	GNSS	9		24		22		12		13		-		-	
操作者②	前後	-10	0	0	5	0	0	0	450	-10	0	-10	0	0	0
	左右	5	0	5	0	0	0	165	0	10	-5	10	0	5	-5
	標準偏差	5		3		0		184		7		7		4	
	風速(m)	MAX 1.3	AVG 0.5	MAX 1.4	AVG 0.7	MAX 1.0	AVG 0.5	MAX 3.3	AVG 0.7	MAX 1.4	AVG 0.7	MAX 1.3	AVG 0.5	MAX 0.9	AVG 0.5
	GNSS	8		24		22		9		13		-		-	
実証時間		11/27 11:13~11:40		11/27 11:56~12:20		11/27 12:29~12:43		11/28 11:40~12:00		11/27 11:56~12:20		11/27 11:13~11:40		11/30 14:06~14:27	

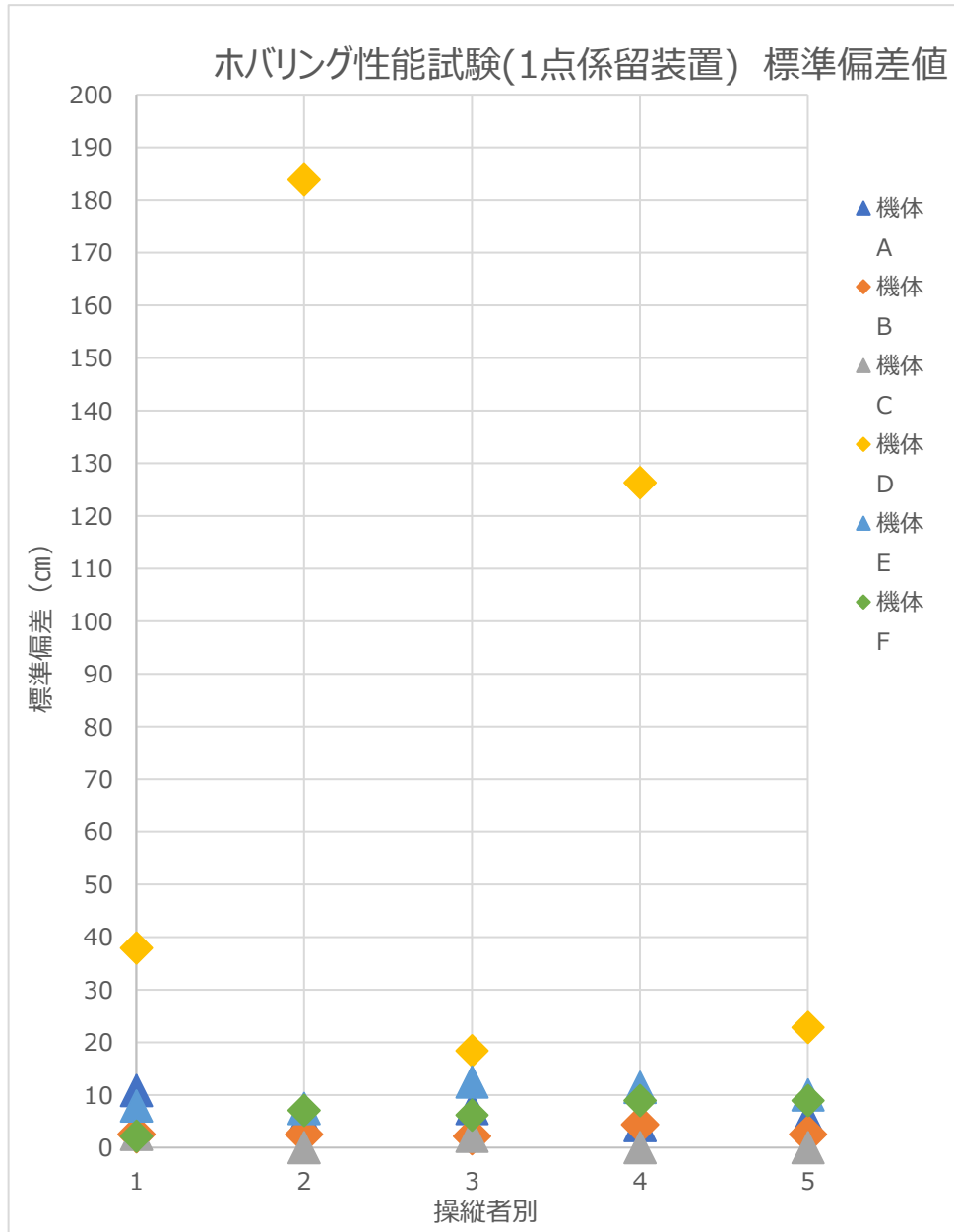


図 53 ホバリング性能比較



図 54 計測状況

f) 急制動試験

① 結果

計測結果を表 35 に示す。計測結果の数値の色分けについては、青色が各機体の中で制動距離最も短かった数値、赤色が各機体の中で制動距離が最も長かった数値となる。計測結果より、機体別、操作者別のグラフを作成し、図 55 と図 56 に示す。また、計測状況を図 57 に示す。

② 評価・分析

計測結果より、機体 D、E 以外は、制動距離が短い。対して、機体 D、E は、制動距離が長い結果となった。基本、移動中のドローンを停止させる方法は、人によるフレア操作と、ドローンによるビジョンセンサや GNSS、VisualSLAM 等によるフレアとなる。本実証では、後者のドローンによる制御が重要となる。そのため、e) ホバリング性能で大きな標準偏差が検出された機体 D や、大型で加速力のある機体 E が、結果として制動距離が長くなったと考える。

今回の結果より、操作者の観点からは、ドローンを移動させる際のフレア操作をするタイミングの指標となる。例えば、操作する機体を壁面に近づける際、機体を壁面に衝突させないためには、壁面からどの距離でフレア操作をすればよいか、感覚的に把握できるようになる。また、安全面では、ドローンの予期せぬ挙動や、ヒューマンエラーによるドローンの移動があった場合に、どの程度移動すると停止するのが把握できるため、それらを考慮した第三者立ち入り禁止措置の範囲を算出することができる。

表 35 停止までに要した移動距離(オーバーシュート)

機体	A								
操作者	①			②			③		
	11/27 14:30~			11/27 14:40~			11/27 14:48~		
計測地点	A	B	移動距離	A	B	移動距離	A	B	移動距離
1 回目 (cm)	530	780	250	400	520	120	400	510	110
	風速 1.4m GNSS:13			風速 1.8m GNSS:13			風速 3.1m GNSS:11		
2 回目 (cm)	560	710	150	390	490	100	400	520	120
	風速 1.4m GNSS:14			風速 1.8m GNSS:13			風速 3.1m GNSS:11		
3 回目 (cm)	450	510	60	360	490	130	440	700	260
	風速 1.4m GNSS:12			風速 1.8m GNSS:13			風速 3.1m GNSS:15		
平均値 (cm)	153			117			163		

機体	B								
操作者	①			②			③		
	11/27 14:55~			11/27 15:03~			11/27 15:08~		
計測地点	A	B	移動距離	A	B	移動距離	A	B	移動距離
1 回目 (cm)	460	770	310	450	700	250	370	550	180
	風速 3.1m GNSS:19			風速 3.1m GNSS:23			風速 0.4m GNSS:22		
2 回目 (cm)	460	800	340	440	630	190	440	690	250
	風速 3.1m GNSS:19			風速 3.1m GNSS:23			風速 0.4m GNSS:22		
3 回目 (cm)	470	690	220	390	540	150	460	680	220
	風速 3.1m GNSS:20			風速 1.3m GNSS:23			風速 1.8m GNSS:24		
平均値 (cm)	290			197			217		

機体	C								
操作者	①			②			③		
	11/27 15:19~			11/27 15:30~			11/27 ~15:38		
計測地点	A	B	移動距離	A	B	移動距離	A	B	移動距離
1 回目 (cm)	420	600	180	400	570	170	390	550	160
	風速 0.4m GNSS:19			風速 0.5m GNSS:20			風速 0.4m GNSS:23		
2 回目 (cm)	410	570	160	400	640	240	430	600	170
	風速 0.6m GNSS:19			風速 0.6m GNSS:20			風速 0.0m GNSS:22		

3回目 (cm)	410	590	180	390	570	180	420	550	130
	風速 0.5m GNSS:19			風速 0.3m GNSS:22			風速 0.8m GNSS:記録漏れ		
平均値 (cm)	173			197			153		

機体	D								
操作者	①			③			②		
	11/28 12:16~			11/28 12:22~			11/28 12:29~		
計測地点	A	B	移動 距離	A	B	移動 距離	A	B	移動 距離
1回目(cm)	520	900	380	460	880	420	400	840	440
	風速 1.3m GNSS:12			風速 2.9m GNSS:13			風速 1.1m GNSS:14		
2回目(cm)	470	960	490	420	870	450	390	820	430
	風速 0.0m GNSS:13			風速 1.5m GNSS:11			風速 1.0m GNSS:14		
3回目(cm)	480	1000	520	430	800	370	390	810	420
	風速 0.6m GNSS:12			風速 1.8m GNSS:12			風速 0.5m GNSS:13		
平均値(cm)	463			413			430		

機体	E								
操作者	①			②			③		
	11/27 15:49~			11/27 ~16:08			11/27 ~16:17		
計測地点	A	B	移動 距離	A	B	移動 距離	A	B	移動 距離
1回目(cm)	550	1160	610	560	1120	560	530	1090	560
	風速 0.7m GNSS:15			風速 0.5m GNSS:16			風速 0.5m GNSS:14		
2回目(cm)	480	1000	520	520	950	430	550	1160	610
	風速 0.6m GNSS:15			風速 0.7m GNSS:16			風速 0.4m GNSS:記録漏れ		
3回目(cm)	490	1040	550	520	1060	540	510	1090	580
	風速 0.4m GNSS:16			風速 0.3m GNSS:記録漏れ			風速 0.4m GNSS:16		
平均値(cm)	560			510			583		

機体	F								
操作者	①			②			③		
	11/27 16:24~			11/27 16:29~			11/27 16:34~		
計測地点	A	B	移動 距離	A	B	移動 距離	A	B	移動 距離
1回目(cm)	380	520	140	370	520	150	400	520	120

	風速 0.0m GNSS:x			風速 0.8m GNSS:x			風速 0.5m GNSS:x		
2 回目(cm)	370	520	150	370	500	130	400	560	160
	風速 0.3m GNSS:x			風速 0.3m GNSS:x			風速 0.4m GNSS:x		
3 回目(cm)	350	440	90	390	550	160	380	490	110
	風速 0.0m GNSS:x			風速 0.0m GNSS:x			風速 0.0m GNSS:x		
平均値	127			147			130		

機体	G(参考)係留不可の機体								
操作者	①			②			③		
	11/30 14:38~			11/30 14:42~			11/30 14:47~		
計測地点	A	B	移動距離	A	B	移動距離	A	B	移動距離
1 回目(cm)	410	460	50	320	490	170	390	530	140
	風速 0.0m GNSS:x			風速 0.5m GNSS:x			風速 0.2m GNSS:x		
2 回目(cm)	400	530	130	410	530	120	430	560	130
	風速 0.0m GNSS:x			風速 0.4m GNSS:x			風速 0.4m GNSS:x		
3 回目(cm)	410	560	150	420	520	100	370	510	140
	風速 0.2m GNSS:x			風速 0.4m GNSS:x			風速 0.0m GNSS:x		
平均値	110			130			137		

青字は良い評価、赤字は悪い評価を表す。

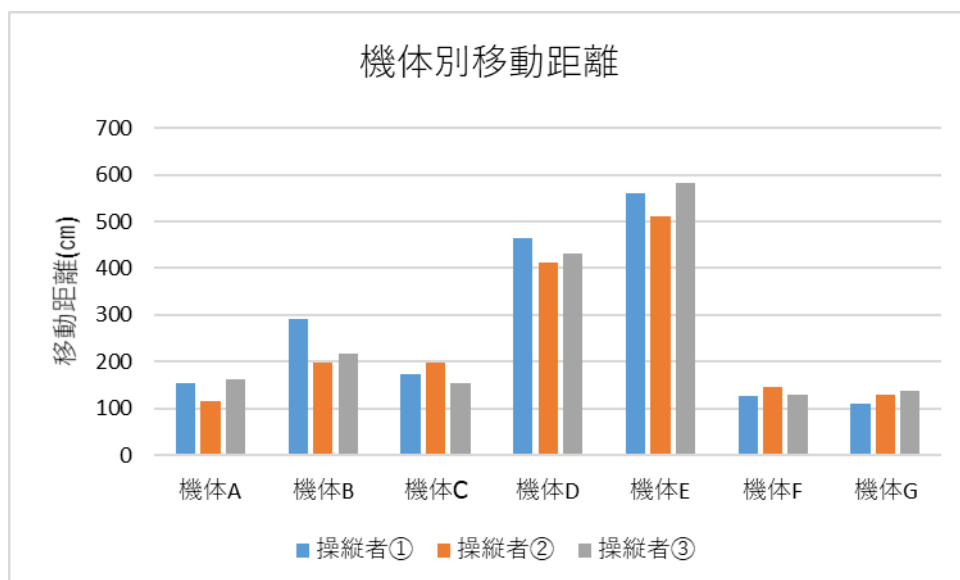


図 55 機体別制動距離

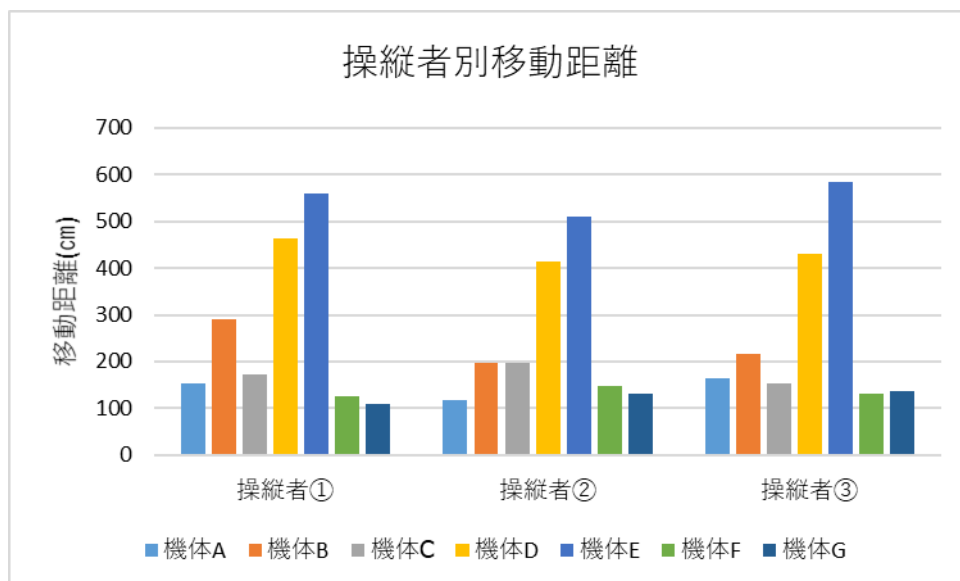


図 56 操作者別制動距離

操作者については、国家ライセンス「二等無人航空機操縦士」を取得している 3 名を選出した。建築物調査、目視点検の検査に足りるデータ取得のための必要条件と考えた。そのため急制動指示に対する対応に差が無かったと考える。

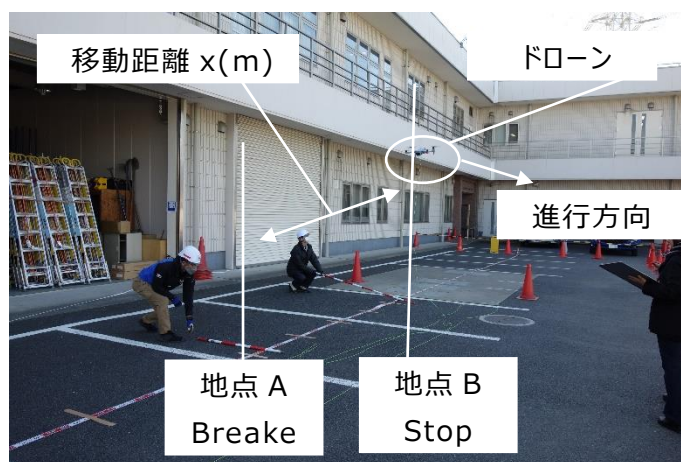


図 57 測定状況

g) 操作性比較

① 結果

アンケートを実施した結果を以下に示す。なお、アンケートは e)ホバリング実証、f)急制動実証、及び h)可視画像撮影（精度）を実施し、その際に飛行させた操作者、建築ドローン飛行管理責任者にアンケートを実施した。アンケートの集計結果を表 36、表 37、表 38、表 39 に示す。アンケートは、各実証でドローン进行操作した操作者と、ドローンの動きやドローン搭載のカメラ映像を確認する建築ドローン飛行管理責任者に実施した。なお、表の文字の色分けについては、青色を良い評価とし、赤色を悪い評価とする。

表 36 ホバリング性能 アンケート結果

ホバリング性能 アンケート結果							
機体	A	B	C	D	E	F	G
操作者							
①	ホバリングに大きなブレは無く、安定した飛行でした。	ホバリングに大きなブレは無く、安定した飛行でした。	ホバリングに大きなブレは無く、安定した飛行でした。	ホバリングに大きなブレがあり、ホバリングの誤差（水平、垂直）が大きかったです。	ホバリングに大きなブレは無く、安定した飛行でした。	ホバリングに大きなブレは無く、安定した飛行でした。	ホバリングに大きなブレは無く、安定した飛行でした。
②	風があると少しずれるが比較的安定してホバリングしていました。	風があると少しずれるが比較的安定してホバリングしていました。	安定してホバリングしていました。	他機種と比べずごく流されると感じました。	安定してホバリングしていました。	少しふらついていた感じがありました。	ほぼ動かないで安定していました(室内でのホバリング)。
⑤	風に対して機体安定性が低い。	安定している。	非常に安定している。	安定しない。	安定している。	安定している。	非常に安定している。

表 37 急制動 アンケート結果

急制動 アンケート結果							
機体	A	B	C	D	E	F	G
操作者							
①	スティックを離せば機体が大きく移動することなく、早いタイミングで機体が止まりました。	最新の機体とはなりますが、急減速をするという感覚よりは、非常にブレーキを緩やかに（雪道運転）かけ停止をした感覚でした。	大型機体とはなりますが、急制動をした際の制動距離は短く、すぐに機体が止まりました。	急制動をした際の制動距離については、他機種に比べると比較的長くなったと感じました。	動作が非常に機敏で初速が速いため、モニタ表示の更新速度が追い付かず、一気にトップスピードまで加速し、停止をさせた感覚でした。速度も速いため、制動距離も伸びた感覚です。	加速についても非常に緩やかな加速となり、急制動についても早いタイミングで機体が止まった印象となりました。	VisualSLAM で飛行しておりますが、急制動の距離も伸びず、すぐに止まった感覚でした。
②	モニタの速度更新が少し遅く、2m/s で停止するのが厳しいと感じました。スティックを離した瞬間にすぐ止まる感じがしました。	スティックを離しても急に止まることはなく、ふんわり止まる感じでした。	大きい機体の割にはすぐに止まる感じがしました。また機体の加速は他機種と比べ少し遅いと感じました。モニタの速度更新も早く、2m/s で止めやすかった。	速度は他機種と比べていいはずなのに、停止距離が長と感じました。	スピードが他機種と比べ一番早く、停止距離も伸びたと思います。	スピードが遅くすぐに止まる感じがしました。	スティックを離すと比較的早く止まった。
⑤	コメントなし。	コメントなし。	機体が一番重いせいか、制動時のピッチング角度が一番大きい。	コメントなし。	制動操作開始から停止するまでの距離が一番長い。	急加速できないせいか、制動操作開始から停止するまでの距離が一番短い。	コメントなし。

表 38 可視画像精度（1点係留） 各機体の操作性アンケート

可視画像精度（1点係留） 各機体の操作性アンケート						
機体	A	B	C	D	E	F
操作者						
①	建物近辺ということもあり、建物屋上の風が抜けていく状況や GPS の取得が少ない状況では、機体ホバリングの安定が落ちることもありましたが、全体を通して 非常に操作もしやすい と感じました。	機体は 非常に安定 をしており、安心して飛行を行えました。シャッター音も操作者にはハッキリと聞こえるため、撮影されていることが明確に音でわかるため、 非常に分かりやすい かと思います。	建物近辺とはなりますが、 非常に安定した飛行 で安心して飛行実施できました。カメラ設定及び飛行について、 安定した撮影実施 できております。	建物屋上の風が抜けていく状況や GPS の取得が少ない状況では、ホバリングの安定性が少し低く感じました。そのため、ドローン調査安全管理者と撮影ポイントで 微調整が非常にかかりました 。また、露出の設定ですが、設定タブ→設定項目（露出）プルダウンと、を変えないといけないので、 操作とカメラ設定に非常に集中力を要しました 。	障害物センサの検知により、 細かな位置調整が動かないパターンがございました 。また、一眼レフカメラで撮影した際の音が、監視用ソフト（アプリケーション）では音が出ず、 撮影されたかどうか が操作者には分かりにくい。	機体は 安定飛行 をし、安心して飛行を行えました。撮影をした際のシャッター音が聞こえなかったため（設定で改善可能と思われる）、操作者が撮影枚数などを取得しないといけない場合、 手元に目線を降ろす行為が増える ので、少しやりにくく感じました。
②	クセがなく 操作がやりやすい と感じました。ただ今回使用した M3T と M300 と違う UI だったため少し カメラの設定に悩んだ 。たまに建物の屋上付近で GPS が切れたので、少し ATTI で安定させる必要があった 。	常に安定して飛行できる 感じがしました。ただ少し風が吹くと若干干渉するかなと思いました。また、着陸時にはセンサが働いているのか素直に着陸できないと感じました。	少しの風では流されることがなく、ホバリング性能も高かったので 落ち着いてカメラの設定と飛ばしながらすることができた 。	ホバリングが安定せず、撮影位置についてからカメラの設定をしようとスティックを話すとすぐに流されてしまうため設定がなかなかできず 撮影に時間がかかった 。	比較的ホバリングが安定していることが多く 操作では特に問題なく飛行できた 。ただバッテリーのことを考えると早く飛行を終わらせたいと急ぎたい気持ちが飛行中あった。	離陸が勢いよく飛びやすいので 注意が必要だ と思いました。またセンサが反応して 思った通りに動かないことがあった 。（設定では切っている）また、 フェールセーフでホバリングが無いのは不便だ と思いました。
⑤	ターゲットの実色と比較して撮影映像は黄色の色味が異なる。	ターゲットの実色と比較して撮影映像は暗い、特に黄色の色味が異なる。視認できるひび割れは太い。	Wide 画像：ターゲットの実色と比較して撮影映像は暗い、特に黄色の色味が異なる。Zoom 画像：3 色の再現性良好、視認できるひび割れは細い。	ターゲットの実色と撮影映像の色の差が少ない、特に青色の再現性は良好。	撮影映像に時々シャギーが入るが、映像の色、ひび割れ精度は一番良い。	夕刻の飛行で、結果 ISO が大きく撮影映像はノイズが多く撮影条件としては最悪だった。

表 39 可視画像精度（2点係留） 各機体の操作性アンケート

可視画像精度（2点係留） 各機体の操作性アンケート						
機体	A	B	C	D	E	F
操作者						
①	センサ関連は全てOFFにしてありますが、機体が非常に不安定になることが多くありました。特にラインドロンの端部などは、水平方向振られることが多く、不安定な動作になりやすいと感じました。	センサ関連は全てOFFにすると、安定した飛行となりました。比較的、不安定な動作にはなっていないという印象となりました。	主索+係留索にて実施となりましたが、一点係留と変わらない操作感となりました。係留索を移動する際は、主索が見えづらくなる環境が生じるかと思しますので、係留索に絡まりがないかなど、監視員とコミュニケーションを取りながら実施すると、安全に移動ができるかと感じました。	センサ関連は全てOFF実施にて、1点係留に比べて安定した飛行となりました。	主索+係留索にて実施となりましたが、一点係留と変わらない操作感となりました。ただ、センサが非常に効いたため（主索？）機体が動かない状態も一部ございました。移動の際は、機体Cと同様に、係留索に絡まりがないかなど、監視員とコミュニケーションを取りながら実施すると、安全に移動ができるかと感じました。	GPS制御が効かないため、係留と自身の制御で非常に不安定な動作となりました。着陸時に機体がまだフライトしていると勘違いを起し、プロペラ停止されない事象が発生したので、少し念頭には置きながらフライトの方が気持ちに余裕は生まれるかと思いました。
②	低空だとドローンの制御が入っているのか暴れる現象があった。3mあたりから安定する感じがしました。	問題なく飛行できたと思います。	1点係留時と変わらず安定して飛行できたのでやりやすかった。	1点係留と同じくホバリングが安定せず、ドローンの上下が安定した瞬間にカメラの設定をするか常にスロットルを操作しなければならず大変でした。またカメラの設定画面までが長くすぐに設定を変更できないのが不便でした。	足の自動折り畳みを切らないと危ないなと感じました。またカメラ本体ではある設定がドローンを経由するとできないのは不便だと感じました。（タイムラプス撮影）。あと撮影音がタブレットやプロポからしないのでしっかり撮影できているのか不安になった。センサが反応して屋上付近では操作できない動きがあった。	ドローンの制御が働いているのか飛行中傾くことがあった。また、カメラの設定をしようと液晶を触っても反応しないときがあった。
⑤	ターゲットの実色と比較して撮影映像は黄色の色味が異なる。	ターゲットの実色と比較して撮影映像は暗い、特に黄色の色味が異なる。視認できるひび割れは太い。	Wide 画像：ターゲットの実色と比較して撮影映像は暗い、特に黄色の色味が異なる。Zoom 画像：3色の再現性良好、視認できるひび割れは細い。	ターゲットの実色と撮影映像の色の差が少ない、特に青色の再現性は良好。	撮影映像に時々シャギーが入るが、映像の色、ひび割れ精度は一番良い。	夕刻の飛行で、結果ISOが大きいく撮影映像はノイズが多く撮影条件としては最悪だった。

② 評価・分析

【ホバリング性能】

アンケート結果より、各機体のホバリング性能については、機体 B、C、E、G について安定していると回答、機体 D のみ安定していない、回答になった。機体 D については、水平方向の標準偏差のみならず、垂直方向の偏差も確認された。ホバリング性能に対する意見としては、機体の安定性能と、耐風性能について述べられている。安定性能については、機体の GNSS 受信強度やセンサ類の精度によるものであると考える。耐風性能については、機体の形状によって風の抵抗を受けやすい機体とそうでない機体がある。機体 A については、形状によるものであると考える。

【急制動】

アンケート結果より、急制動については、機体 A、C、F、G についてすぐ停止すると回答、機体 B、D、E についてすぐ停止しない、回答になった。急制動に対する意見としては、停止までに必要となる距離と停止動作の状況について述べられている。機体の停止動作については、進行方向と逆方向に機体を倒すフレア操作となる。フレア操作については、機体のピッチ角度やバンク角度が影響する。このピッチ角度やバンク角度が大きくなるにつれ急ブレーキとなるが、角度が大きいと機体の安定性にも影響が出る。機体 B は、停止に時間がかかるものの、ブレーキを優しくかけることで、機体の安定性を損なわない動きをしているように感じ取れた。

【可視画像撮影（精度）】

可視画像撮影（精度）については、1 点係留の場合と 2 点係留の場合についてアンケートを実施した。

1 つ目の 1 点係留は、機体の安定を維持する為のものでなく、機体のフライアウェイ後に対応する為の安全設備となる。そのため、機体の安定性は、係留なしの場合とほとんど変わらず、個々の機体のホバリング性能に起因している。可視画像撮影（精度）では、ホバリング性能比較と同様で、ホバリングの安定性があった機体 A、B、C は、操縦者の負担の少ない撮影が可能という結果であった。逆に、安定性に欠けた機体 D では、撮影時の機体姿勢等の微調整に苦労したようだ。1 点係留に対する意見としては、撮影時の機体ホバリング安定性やカメラの設定動作、機体センサ類の反応について意見があった。撮影時の機体ホバリング安定性やカメラの設定動作について、基本的に特定の場所に飛行して撮影する場合は、機体を移動後、被写体に合わせてカメラの設定をする。その際、機体は、被写体を捉えながらホバリングする必要がある。カメラの設定は、操縦者が、建築ドローン飛行管理責任者より得た情報を基に行う。機体の制御とカメラ操作は、同時にすることが出来ない。そのため、ホバリングの安定性が悪い機体の場合は、機体の姿勢制御後、カメラの設定を変更している間に機体が移動してしまい、再度機体の姿勢制御動作をしなくてはならない。そういった作業は、操作者の負担にもつながり、機体の移動による予期せぬアクシデントに繋がる恐れがある。また、プロポによっては、モニタのタッチパネルを操作者が確認しながらカメラの設定をしなくてはいけない機体もある。そういった機体では、目視外飛行をする必要が出てきてしまい、これも、事故につながる原因となる。その他に安定性の面では、ある場所まで移動すると GNSS が受信できなく

なる現象が発生する機体があった。その場合は、GNSSを使用しない不安定な飛行となり、操作者本人の力量に委ねられてしまう。機体センサ類の反応については、センサ類が外壁や係留索に反応してしまい、移動できなくなる事象が見られた。その場合は、センサが反応しない位置まで移動する必要がある。センサ類については、切ることも可能だが、安全装置を外すこととなり危険も増える。

2点係留を使用した可視画像撮影においては、機体 B、C について安定していると回答、機体 F のみ安定していない、という回答であった。操作者の 1 人からは、1 点係留と比べ、操作者の 1 人からは、機体 D においても安定性が増したとの回答があった。2 点係留は、機体を 2 点で緊張した係留索に間接的に接続しているため、ホバリング性能において標準偏差が大きかった機体 D であっても、ある程度の安定性を保つことができた。しかし、係留索の影響より、機体のセンサ関係を OFF にする必要があり、安定したホバリング性を有した機体であっても安定が損なわれる。その点から、機体 A、D は、安定性が悪くなったと感じたと思われる。また、大型の機体 D、E については、2 点で緊張した係留索に枝索を取付けその先に機体を取付けることから、1 点係留と変わらないといった回答があった。

(ウ) 撮影影響比較

撮影影響比較は、ドローンの性能により生じる撮影の影響を比較することで h) 可視画像撮影（精度）、i) 係留方法の比較、j) 可視画像撮影（環境影響）について評価した。

表 40 撮影影響比較

No.	比較項目	計測方法概要	使用機体	期待される効果
h	可視画像撮影 (精度)	ひび割れ等を撮影して定量的に比較	6 種類	機体及びカメラの能力に応じた点検時の選定の指標として活用
i※	係留方法の比較	各種係留方法のリードタイム、コスト等を実証	2 種類	各種係留方法の安全性の指標として活用
j	可視画像撮影 (環境影響)	昼間、夕刻と異なる環境化で撮影し比較	6 種類	実際の点検における時間等制約の確認

h) 可視画像撮影（精度）

① 結果

撮影結果に関して、係留装置なしで撮影した撮影画像を表 41、表 42、表 43、表 44、表 45 及び表 46 に、1 点係留で撮影した撮影画像を表 47、表 48、表 49、表 50、表 51、及び表 52 に、2 点係留で撮影した撮影画像を表 53、及び表 54 に示す。

また、各係留装置で撮影した撮影画像の精度の比較を表 56、表 57、及び表 58 に示す。なお、撮影画像の比較における数値や文章の色分けについて、青色は、撮影精度が良い場合で、赤色は、撮影精度が悪い場合となる。

表 41 可視画像撮影（精度）係留なし
 別添の高画質画像を貼り付けた資料にて提出
 表 42 可視画像撮影（精度）係留なし








実験名称	h,可視画像撮影（精度）						
係留方法	係留装置なし						
機体	A	B	C	D	E	F	G
撮影写真							
撮影日時	2023/12/1 13:10	2023/12/1 13:37	2023/12/1 13:50	2023/12/1 14:03	2023/12/1 14:18	2023/12/1 14:29	2023/12/1 12:57
風速AVG(m/s)	0.5	0.8	0.5	0.6	1.0	0.5	0.8
GNSS	13	32	25	14	19	-	14
写真情報	画素 5472 x 3648 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア v01.07.1641 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/640 絞り値 F6.3 焦点距離 8.80mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -0.7EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ ストロボ機能無し 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 11.00.01.86 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/2000 絞り値 F2.8 焦点距離 4.40mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -0.7EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 4056 x 3040 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 07.00.01.05 ISO感度 ISO120 シャッター 1/2000 絞り値 F2.8 焦点距離 4.50mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -0.7EV 最小F値 F2.8 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 5448 x 3632 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 1.13 ISO感度 ISO125 シャッター 1/2000 絞り値 F3.1 焦点距離 10.2mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -0.3EV 最小F値 F2.8 被写体距離 32.1m 35mm換算焦点距離 28mm WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 9504 x 6336 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア ILCE-7RM4 v1.20 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO200 シャッター 1/800 絞り値 F5.6 焦点距離 85.0mm レンズ FE 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F1.8 測光方式 平均測光 フラッシュ 強制非発光 35mm換算焦点距離 85mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア V0.3.3.0 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/640 絞り値 F1.8 焦点距離 4.74mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F1.8 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 26mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 4056 x 3040 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 0700ff378ba6430fa302873332b45590 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO102 シャッター 1/3200 絞り値 F2.8 焦点距離 3.70mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -1.0EV 最小F値 F2.8 測光方式 平均測光 フラッシュ ストロボ機能無し 35mm換算焦点距離 21mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動

表 43 可視画像撮影（精度）係留なし








実験名称	h,可視画像撮影（精度）						
係留方法	係留装置なし						
機体	A	B	C	D	E	F	G
撮影写真							
撮影日時	2023/12/1 13:11	2023/12/1 13:38	2023/12/1 13:51	2023/12/1 14:03	2023/12/1 14:18	2023/12/1 14:30	2023/12/1 12:57
風速AVG(m/s)	0.5	0.8	0.5	0.6	1.0	0.5	0.8
GNSS	13	32	25	14	19	-	14
写真情報	画素 5472 x 3648 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア v01.07.1641 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/640 絞り値 F6.3 焦点距離 8.80mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -0.7EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ ストロボ機能無し 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 11.00.01.86 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/2500 絞り値 F2.8 焦点距離 4.40mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -1.0EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 4056 x 3040 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 07.00.01.05 撮影日時 ISO感度 ISO120 シャッター 1/3000 絞り値 F2.8 焦点距離 4.50mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -1.0EV 最小F値 F2.8 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 5448 x 3632 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 1.13 ISO感度 ISO125 シャッター 1/1600 絞り値 F5.0 焦点距離 10.2mm 露出Program ノー 露出補正 -1.0EV 最小F値 F2.8 被写体距離 2.82m 35mm換算焦点距離 28mm WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 9504 x 6336 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア ILCE-7RM4 v1.20 レーティング 0 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO200 シャッター 1/1000 絞り値 F6.3 焦点距離 85.0mm レンズ FE 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F1.8 測光方式 平均測光 フラッシュ 強制非発光 35mm換算焦点距離 85mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア V0.3.3.0 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/800 絞り値 F1.8 焦点距離 4.74mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -0.3EV 最小F値 F1.8 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 26mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 4056 x 3040 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 0700ff378ba6430fa302873332b45590 ISO感度 ISO101 シャッター 1/3200 絞り値 F2.8 焦点距離 3.70mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -1.0EV 最小F値 F2.8 測光方式 平均測光 フラッシュ ストロボ機能無し 35mm換算焦点距離 21mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動

表 44 可視画像撮影（精度）係留なし






実験名称	h,可視画像撮影（精度）						
係留方法	係留装置なし						
機体	A	B	C	D	E	F	G
撮影写真							
撮影日時	2023/12/1 13:12	2023/12/1 13:38	2023/12/1 13:52	2023/12/1 14:04	2023/12/1 14:19	2023/12/1 14:32	2023/12/1 12:57
風速AVG(m/s)	0.5	0.8	0.5	0.6	1.0	0.5	0.8
GNSS	13	32	25	14	19	-	14
写真情報	画素 5472 x 3648 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア v01.07.1641 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/640 絞り値 F6.3 焦点距離 8.80mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -0.7EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ ストロボ機能無し 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 11.00.01.86 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO110 シャッター 1/2500 絞り値 F2.8 焦点距離 4.40mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -1.0EV 最小F値 F2.8 測光方式 スポット測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 4056 x 3040 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 07.00.01.05 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO120 シャッター 1/2500 絞り値 F2.8 焦点距離 4.50mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -1.0EV 最小F値 F2.8 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 5448 x 3632 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 1.13 ISO感度 ISO125 シャッター 1/1600 絞り値 F4.4 焦点距離 10.2mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -1.0EV 最小F値 F2.8 被写体距離 2.54m 35mm換算焦点距離 28mm WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 9504 x 6336 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア ILCE-7RM4 v1.20 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO200 シャッター 1/1000 絞り値 F5.6 焦点距離 85.0mm レンズ FE 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F1.8 測光方式 平均測光 フラッシュ 強制非発光 35mm換算焦点距離 85mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア V0.3.3.0 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/800 絞り値 F1.8 焦点距離 4.74mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -0.3EV 最小F値 F1.8 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 26mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 4056 x 3040 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 0700ff378ba6430fa302873332b45590 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO102 シャッター 1/3200 絞り値 F2.8 焦点距離 3.70mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -1.0EV 最小F値 F2.8 測光方式 平均測光 フラッシュ ストロボ機能無し 35mm換算焦点距離 21mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動

表 45 可視画像撮影（精度）係留なし








実験名称	h,可視画像撮影（精度）						
係留方法	係留装置なし						
機体	A	B	C	D	E	F	G
撮影写真							
撮影日時	2023/12/1 13:13	2023/12/1 13:39	2023/12/1 13:53	2023/12/1 14:05	2023/12/1 14:21	2023/12/1 14:33	2023/12/1 12:57
風速AVG(m/s)	0.5	0.8	0.5	0.6	1.0	0.5	0.8
GNSS	13	32	25	14	19	-	14
写真情報	画素 5472 x 3648 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア v01.07.1641 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/800 絞り値 F6.3 焦点距離 8.80mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -1.0EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ ストロボ機能無し 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 11.00.01.86 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/2000 絞り値 F2.8 焦点距離 4.40mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -1.0EV 最小F値 F2.8 測光方式 スポット測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 4056 x 3040 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 07.00.01.05 ISO感度 ISO110 シャッター 1/2500 絞り値 F2.8 焦点距離 4.50mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -1.0EV 最小F値 F2.8 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 5448 x 3632 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 1.13 ISO感度 ISO125 シャッター 1/2000 絞り値 F4.4 焦点距離 10.2mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -1.0EV 最小F値 F2.8 被写体距離 4.73m 35mm換算焦点距離 28mm WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 9504 x 6336 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア ILCE-7RM4 v1.20 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO200 シャッター 1/800 絞り値 F5.6 焦点距離 85.0mm レンズ FE 85mm F1.8 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F1.8 測光方式 平均測光 フラッシュ 強制非発光 35mm換算焦点距離 85mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア V0.3.3.0 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/800 絞り値 F1.8 焦点距離 4.74mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -0.3EV 最小F値 F1.8 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 26mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 4056 x 3040 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 0700ff378ba6430fa302873332b45590 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO102 シャッター 1/3200 絞り値 F2.8 焦点距離 3.70mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -1.0EV 最小F値 F2.8 測光方式 平均測光 フラッシュ ストロボ機能無し 35mm換算焦点距離 21mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動

表 46 可視画像撮影（精度）係留なし








実験名称	h,可視画像撮影（精度）						
係留方法	係留装置なし						
機体	A	B	C	D	E	F	G
撮影写真							
撮影日時	2023/12/1 13:13	2023/12/1 13:40	2023/12/1 13:54	2023/12/1 14:06	2023/12/1 14:21	2023/12/1 14:34	2023/12/1 12:57
風速AVG(m/s)	0.5	0.8	0.5	0.6	1.0	0.5	0.8
GNSS	13	32	25	14	19	-	14
写真情報	画素 5472 x 3648 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア v01.07.1641 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/800 絞り値 F6.3 焦点距離 8.80mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -1.0EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ ストロボ機能無し 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 11.00.01.86 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO110 シャッター 1/3200 絞り値 F2.8 焦点距離 4.40mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -1.7EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 4056 x 3040 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 07.00.01.05 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO110 シャッター 1/3200 絞り値 F2.8 焦点距離 4.50mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -1.3EV 最小F値 F2.8 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 5448 x 3632 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 1.13 ISO感度 ISO125 シャッター 1/2000 絞り値 F4.4 焦点距離 10.2mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -1.0EV 最小F値 F2.8 被写体距離 3.91m 35mm換算焦点距離 28mm WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 9504 x 6336 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア ILCE-7RM4 v1.20 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO200 シャッター 1/1000 絞り値 F6.3 焦点距離 85.0mm レンズ FE マルプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F1.8 測光方式 平均測光 フラッシュ 強制非発光 35mm換算焦点距離 85mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア V0.3.3.0 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/800 絞り値 F1.8 焦点距離 4.74mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -0.3EV 最小F値 F1.8 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 26mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 4056 x 3040 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 0700ff378ba6430fa302873332b45590 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO101 シャッター 1/3200 絞り値 F2.8 焦点距離 3.70mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -1.0EV 最小F値 F2.8 測光方式 平均測光 フラッシュ ストロボ機能無し 35mm換算焦点距離 21mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動

表 47 可視画像撮影（精度）1点係留
 別添の高画質画像を貼り付けた資料にて提出
 表 48 可視画像撮影（精度）1点係留







実験名称	h _r 可視画像撮影（精度）						
係留方法	1点係留						
機体	A	B	C	D	E	F	G
撮影写真							-
撮影日時	2023/11/28 14:01	2023/11/28 14:45	2023/11/28 15:05	2023/11/28 14:24	2023/11/30 11:47	2023/11/30 12:03	-
風速AVG(m/s)	1.2	2	0.8	1.5	2.3	0.5	-
GNSS	11	17	16	11	15	-	-
写真情報	画素 5472 x 3648 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア v01.07.1641 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/125 絞り値 F4.5 焦点距離 8.80mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ ストロボ機能無し 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 11.00.01.86 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/125 絞り値 F2.8 焦点距離 4.40mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 4056 x 3040 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 07.00.01.05 ISO感度 ISO110 シャッター 1/200 絞り値 F2.8 焦点距離 4.50mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F2.8 測光方式 スポット フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 5448 x 3632 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 1.13 ISO感度 ISO125 シャッター 1/500 絞り値 F2.8 焦点距離 10.2mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F2.8 被写体距離 4294967.3m 35mm換算焦点距離 28mm WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 9504 x 6336 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア ILCE-7RM4 v1.20 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO200 シャッター 1/640 絞り値 F5.0 焦点距離 85.0mm レンズ FE 85mm F1.8 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F1.8 測光方式 平均測光 フラッシュ 強制非発光 35mm換算焦点距離 85mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア V0.3.3.0 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/250 絞り値 F1.8 焦点距離 4.74mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -0.3EV 最小F値 F1.8 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 26mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	-

表 49 可視画像撮影（精度）1点係留






実験名称	h,可視画像撮影（精度）						
係留方法	1点係留						
機体	A	B	C	D	E	F	G
撮影写真							-
撮影日時	2023/11/28 14:03	2023/11/28 14:46	2023/11/28 15:06	2023/11/28 14:25	2023/11/30 11:49	2023/11/30 12:04	-
風速AVG(m/s)	1.2	2	0.8	1.5	2.3	0.5	-
GNSS	11	17	16	11	15	-	-
写真情報	画素 5472 x 3648 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア v01.07.1641 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/400 絞り値 F5.6 焦点距離 8.80mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +0.3EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ ストロボ機能無し 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 11.00.01.86 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/750 絞り値 F2.8 焦点距離 4.40mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +0.3EV 最小F値 F2.8 測光方式 平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 4056 x 3040 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 07.00.01.05 ISO感度 ISO110 シャッター 1/500 絞り値 F2.8 焦点距離 4.50mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +0.3EV 最小F値 F2.8 測光方式 スポット フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 5448 x 3632 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 1.13 ISO感度 ISO125 シャッター 1/1000 絞り値 F2.8 焦点距離 10.2mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +0.7EV 最小F値 F2.8 被写体距離 1.92m 35mm換算焦点距離 28mm WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 9504 x 6336 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア ILCE-7RM4 v1.20 レーティング 0 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO200 シャッター 1/1000 絞り値 F6.3 焦点距離 85.0mm レンズ FE 85mm F1.8 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +0.7EV 最小F値 F1.8 測光方式 平均測光 フラッシュ 強制非発光 35mm換算焦点距離 85mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア V0.3.3.0 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/640 絞り値 F1.8 焦点距離 4.74mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +0.7EV 最小F値 F1.8 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 26mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	-

表 50 可視画像撮影（精度）1点係留

実験名称	h,可視画像撮影（精度）						
係留方法	1点係留						
機体	A	B	C	D	E	F	G
撮影写真							-
撮影日時	2023/11/28 14:04	2023/11/28 14:47	2023/11/28 15:07	2023/11/28 14:26	2023/11/30 11:50	2023/11/30 12:05	-
風速AVG(m/s)	1.2	2	0.8	1.5	2.3	0.5	-
GNSS	11	17	16	11	15	-	-
写真情報	画素 5472 x 3648 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア v01.07.1641 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/160 絞り値 F4.5 焦点距離 8.80mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +0.3EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ ストロボ機能無し 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 11.00.01.86 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/250 絞り値 F2.8 焦点距離 4.40mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F2.8 測光方式 スポット フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 4056 x 3040 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 07.00.01.05 ISO感度 ISO110 シャッター 1/250 絞り値 F2.8 焦点距離 4.50mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F2.8 測光方式 スポット フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 5448 x 3632 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 1.13 ISO感度 ISO160 シャッター 1/500 絞り値 F2.8 焦点距離 10.2mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +0.7EV 最小F値 F2.8 被写体距離 3.91m 35mm換算焦点距離 28mm WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 9504 x 6336 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア ILCE-7RM4 v1.20 レーティング 0 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO200 シャッター 1/640 絞り値 F5.0 焦点距離 85.0mm レンズ FE 85mm F1.8 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F1.8 測光方式 平均測光 フラッシュ 強制非発光 35mm換算焦点距離 85mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア V0.3.3.0 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/320 絞り値 F1.8 焦点距離 4.74mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F1.8 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 26mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	-

表 51 可視画像撮影（精度）1点係留

実験名称	h _r 可視画像撮影（精度）						
係留方法	1点係留						
機体	A	B	C	D	E	F	G
撮影写真							-
撮影日時	2023/11/28 14:05	2023/11/28 14:48	2023/11/28 15:08	2023/11/28 14:27	2023/11/30 11:51	2023/11/30 12:06	-
風速AVG(m/s)	1.2	2	0.8	1.5	2.3	0.5	-
GNSS	11	17	16	11	15	-	-
写真情報	画素 5472 x 3648 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア v01.07.1641 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/160 絞り値 F4.5 焦点距離 8.80mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ ストロボ機能無し 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 11.00.01.86 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/125 絞り値 F2.8 焦点距離 4.40mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 4056 x 3040 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 07.00.01.05 ISO感度 ISO100 シャッター 1/180 絞り値 F2.8 焦点距離 4.50mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F2.8 測光方式 スポット フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 5448 x 3632 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 1.13 ISO感度 ISO200 シャッター 1/500 絞り値 F2.8 焦点距離 10.2mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +0.7EV 最小F値 F2.8 被写体距離 2.82m 35mm換算焦点距離 28mm WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 9504 x 6336 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア ILCE-7RM4 v1.20 レーティング 0 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO200 シャッター 1/640 絞り値 F5.0 焦点距離 85.0mm レンズ FE 85mm F1.8 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F1.8 測光方式 平均測光 フラッシュ 強制非発光 35mm換算焦点距離 85mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア V0.3.3.0 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/320 絞り値 F1.8 焦点距離 4.74mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -0.3EV 最小F値 F1.8 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 26mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	-

表 52 可視画像撮影（精度）1点係留







実験名称	h,可視画像撮影（精度）						
係留方法	1点係留						
機体	A	B	C	D	E	F	G
撮影写真							-
撮影日時	2023/11/28 14:06	2023/11/28 14:49	2023/11/28 15:09	2023/11/28 14:28	2023/11/30 11:52	2023/11/30 12:07	-
風速AVG(m/s)	1.2	2	0.8	1.5	2.3	0.5	-
GNSS	11	17	16	11	15	-	-
写真情報	画素 5472 x 3648 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア v01.07.1641 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/320 絞り値 F5.0 焦点距離 8.80mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +0.7EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 中央重点平均測光 点平均測光 フラッシュ ストロボ機能無し 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 11.00.01.86 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/640 絞り値 F2.8 焦点距離 4.40mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +0.3EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 4056 x 3040 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 07.00.01.05 ISO感度 ISO100 シャッター 1/400 絞り値 F2.8 焦点距離 4.50mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F2.8 測光方式 スポット フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 5448 x 3632 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 1.13 ISO感度 ISO125 シャッター 1/640 絞り値 F2.8 焦点距離 10.2mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +1.0EV 最小F値 F2.8 被写体距離 32.1m 35mm換算焦点距離 28mm WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 9504 x 6336 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア ILCE-7RM4 v1.20 レーティング 0 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO200 シャッター 1/800 絞り値 F5.6 焦点距離 85.0mm レンズ FE 85mm F1.8 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +1.0EV 最小F値 F1.8 測光方式 平均測光 フラッシュ 強制非発光 35mm換算焦点距離 85mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア V0.3.3.0 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/640 絞り値 F1.8 焦点距離 4.74mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +1.0EV 最小F値 F1.8 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 26mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	-

表 53 可視画像撮影（精度）2点係留
 別添の高画質画像を貼り付けた資料にて提出
 表 54 可視画像撮影（精度）2点係留

実験名称	h,可視画像撮影（精度）						
係留方法	2点係留						
機体	A	B	C	D	E	F	G
撮影写真							-
撮影日時	2023/12/1 9:42	2023/12/1 9:57	2023/11/30 10:26	2023/11/30 11:24	2023/11/30 10:46	2023/12/1 10:11	-
風速AVG(m/s)	0.7	0.7	0	0	0.0	0.6	-
GNSS	9 (ATTI)	21 (ATTI)	23	8 (マニュアル)	19	-	-
写真情報	画素 5472 x 3648 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア v01.07.1641 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/200 絞り値 F4.5 焦点距離 8.80mm 露出Program ノー マルチプログラム 露出補正 -0.3EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 中央重 点平均測光 フラッシュ ストロボ機能無し 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 11.00.01.86 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/180 絞り値 F2.8 焦点距離 4.40mm 露出Program ノー マルチプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 スポット 測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 4056 x 3040 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 07.00.01.05 ISO感度 ISO120 シャッター 1/250 絞り値 F2.8 焦点距離 4.50mm 露出Program ノー マルチプログラム 露出補正 +0.3EV 最小F値 F2.8 測光方式 中央重 点平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 5448 x 3632 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 1.13 ISO感度 ISO250 シャッター 1/500 絞り値 F2.8 焦点距離 10.2mm 露出Program ノー マルチプログラム 露出補正 +1.3EV 最小F値 F2.8 被写体距離 45.7m 35mm換算焦点距離 28mm WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 9504 x 6336 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア ILCE-7RM4 v1.20 個別画像処理 通常処理 レーティング 0 ISO感度 ISO200 シャッター 1/640 絞り値 F4.5 焦点距離 85.0mm レンズ FE 露出Program ノー マルチプログラム 露出補正 +0.3EV 最小F値 F1.8 測光方式 平均測光 フラッシュ 強制非発光 35mm換算焦点距離 85mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア V0.3.3.0 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/320 絞り値 F1.8 焦点距離 4.74mm 露出Program ノー マルチプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F1.8 測光方式 中央重 点平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 26mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	-

表 55 可視画像撮影（精度）2点係留







実験名称	h,可視画像撮影（精度）						
係留方法	2点係留						
機体	A	B	C	D	E	F	G
撮影写真							-
撮影日時	2023/12/1 9:44	2023/12/1 9:58	2023/11/30 10:27	2023/11/30 11:25	2023/11/30 10:47	2023/12/1 10:13	-
風速AVG(m/s)	0.7	0.7	0	0	0.0	0.6	-
GNSS	9 (ATTI)	21 (ATTI)	23	8 (マニュアル)	19	-	-
写真情報	画素 5472 x 3648 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア v01.07.1641 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/320 絞り値 F5.6 焦点距離 8.80mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +1.3EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 中央重点平均測光 点平均測光 フラッシュ ストロボ機能無し 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 11.00.01.86 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/2500 絞り値 F2.8 焦点距離 4.40mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +1.0EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 4056 x 3040 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 07.00.01.05 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO110 シャッター 1/800 絞り値 F2.8 焦点距離 4.50mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +1.0EV 最小F値 F2.8 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 5448 x 3632 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 1.13 ISO感度 ISO125 シャッター 1/1000 絞り値 F2.8 焦点距離 10.2mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +1.0EV 最小F値 F2.8 被写体距離 4.45m 35mm換算焦点距離 28mm WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 9504 x 6336 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア ILCE-7RM4 v1.20 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO200 シャッター 1/640 絞り値 F5.6 焦点距離 85.0mm レンズ FE マルプログラム 露出補正 +1.0EV 最小F値 F1.8 測光方式 平均測光 フラッシュ 強制非発光 35mm換算焦点距離 85mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア V0.3.3.0 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/1000 絞り値 F1.8 焦点距離 4.74mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +0.7EV 最小F値 F1.8 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 26mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	-

表 56 可視画像撮影（精度）係留なし

h,可視画像撮影（精度）									
係留方法	ターゲット	確認対象	機体 A	機体 B	機体 C	機体 D	機体 E	機体 F	機体 G
係留なし	①	視認クラックスケール幅(mm)	0.05	0.10	0.10	0.10	0.05	0.05	0.05
		視認三原色	彩色確認可能	周囲のぼやけ	発色が悪い	彩色確認可能	彩色確認可能	線にシャープさがない	線にシャープさがない
		視認ランドルト環範囲	1.0	0.7	0.6	1.0	2.0	0.5	0.5
	②	視認クラックスケール幅(mm)	0.10	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
		視認三原色	彩色確認可能	周囲のぼやけ	発色が悪い	彩色確認可能	彩色確認可能	線にシャープさがない	線にシャープさがない
		視認ランドルト環範囲	1.0	0.7	0.6	1.2	2.0	0.5	0.5
	③	視認クラックスケール幅(mm)	0.10	0.30	0.05	0.10	0.05	0.10	0.10
		視認三原色	彩色確認可能	周囲のぼやけ	発色が悪い	彩色確認可能	彩色確認可能	線にシャープさがない	線にシャープさがない
		視認ランドルト環範囲	1.0	0.7	0.6	1.0	2.0	0.5	0.3
	④	視認クラックスケール幅(mm)	0.10	0.30	0.05	0.05	0.05	0.05	0.10
		視認三原色	彩色確認可能	周囲のぼやけ	発色が悪い	彩色確認可能	彩色確認可能	線にシャープさがない	線にシャープさがない
		視認ランドルト環範囲	1.0	0.7	0.6	1.0	2.0	0.5	0.5
	⑤	視認クラックスケール幅(mm)	0.10	0.10	0.10	0.05	0.05	0.10	0.10
		視認三原色	彩色確認可能	周囲のぼやけ	発色が悪い	彩色確認可能	彩色確認可能	線にシャープさがない	線にシャープさがない
		視認ランドルト環範囲	1.0	0.7	0.6	1.0	2.0	0.5	0.5
	平均	視認クラックスケール幅(mm)	0.09	0.18	0.07	0.07	0.05	0.07	0.08
		視認三原色	彩色確認可能	周囲のぼやけ	発色が悪い	彩色確認可能	彩色確認可能	線にシャープさがない	線にシャープさがない
		視認ランドルト環範囲	1.00	0.70	0.60	1.04	2.00	0.50	0.46

表 57 可視画像撮影（精度）1点係留

h,可視画像撮影（精度）								
係留方法	ターゲット	確認対象	機体 A	機体 B	機体 C	機体 D	機体 E	機体 F
1点係留	①	視認クラックスケール幅(mm)	0.10	0.10	0.10	0.05	0.05	0.10
		視認三原色	彩色確認可能	周囲のぼやけ	発色が悪い	彩色確認可能	彩色確認可能	線にシャープさがない
		視認ランドルト環範囲	1.0	0.7	0.5	0.7	2.0	0.8
	②	視認クラックスケール幅(mm)	0.05	0.10	0.10	0.10	0.05	0.05
		視認三原色	彩色確認可能	周囲のぼやけ	発色が悪い	彩色確認可能	彩色確認可能	線にシャープさがない
		視認ランドルト環範囲	1.0	0.7	0.4	0.9	2.0	0.6
	③	視認クラックスケール幅(mm)	0.05	0.30	0.05	0.05	0.05	0.10
		視認三原色	彩色確認可能	周囲のぼやけ	発色が悪い	彩色確認可能	彩色確認可能	線にシャープさがない
		視認ランドルト環範囲	1.0	0.7	0.7	1.2	2.0	0.6
	④	視認クラックスケール幅(mm)	0.05	0.10	0.10	0.05	0.05	0.10
		視認三原色	彩色確認可能	周囲のぼやけ	発色が悪い	彩色確認可能	彩色確認可能	線にシャープさがない
		視認ランドルト環範囲	1.0	0.7	0.6	1.2	2.0	0.7
	⑤	視認クラックスケール幅(mm)	0.05	0.10	0.10	0.05	0.05	0.05
		視認三原色	彩色確認可能	周囲のぼやけ	発色が悪い	彩色確認可能	彩色確認可能	線にシャープさがない
		視認ランドルト環範囲	1.0	0.7	0.6	1.0	2.0	0.7
	平均	視認クラックスケール幅(mm)	0.06	0.14	0.09	0.06	0.05	0.08
		視認三原色	彩色確認可能	周囲のぼやけ	発色が悪い	彩色確認可能	彩色確認可能	線にシャープさがない
		視認ランドルト環範囲	1.00	0.70	0.56	1.00	2.00	0.68

表 58 可視画像撮影（精度）2点係留

h,可視画像撮影（精度）								
係留方法	ターゲット	確認対象	機体 A	機体 B	機体 C	機体 D	機体 E	機体 F
2点係留	①	視認クラックスケール幅(mm)	0.10	0.10	0.05	0.50	0.05	0.05
		視認三原色	彩色確認可能	周囲のぼやけ	発色が悪い	彩色確認可能	彩色確認可能	線にシャープさがない
		視認ランドルト環範囲	0.8	0.6	0.4	1.0	2.0	0.6
	④	視認クラックスケール幅(mm)	0.05	0.50	0.10	0.05	0.05	0.10
		視認三原色	彩色確認可能	周囲のぼやけ	発色が悪い	彩色確認可能	彩色確認可能	線にシャープさがない
		視認ランドルト環範囲	0.7	0.5	0.6	1.0	2.0	0.6
	平均	視認クラックスケール幅(mm)	0.08	0.30	0.08	0.28	0.05	0.08
		視認三原色	彩色確認可能	周囲のぼやけ	発色が悪い	彩色確認可能	彩色確認可能	線にシャープさがない
		視認ランドルト環範囲	0.75	0.55	0.50	1.00	2.00	0.60

② 評価・分析

建築物外壁の撮影においては、事前調査や机上調査を基に、カメラの選定をする必要がある。カメラの選定において必要となることは、以下の 2 点となる。

- ・カメラやレンズの性能
- ・カメラの設定

これらを適切に選定することで、精度の高い調査を可能とする。

カメラやレンズの性能は、解像度、センササイズ、レンズの焦点距離を適切に選定する必要がある。解像度とは、画像のデータを構成する密度である。解像度が高いほど、画像を拡大したときの写真が綺麗に保たれる。センササイズは、画素、画角、焦点深度、感度等に影響を与える。レンズにおいては、対象をどの範囲まで収めるか検討した後、焦点距離が適切なレンズにする必要がある。焦点距離については、数値が小さいほど広角よりの撮影ができ、数値が大きいほど望遠よりの撮影が可能となる。広角よりの場合は、広い範囲の撮影が可能である。望遠よりの場合は、狭い範囲の撮影となってしまうが、被写体に近接した撮影が可能となる。そのため、カメラやレンズの性能は、被写体や条件により適切な物を使用する必要がある。一般的な機体では、標準搭載したカメラを変更できないが、特定の機体（本実証においては、機体 E）は、撮影条件によりカメラやレンズを変更することができる。

カメラの設定は、シャッター速度、ISO 値、F 値、露出を設定する必要がある。シャッター速度は、画像のブレに影響を与える。シャッタースピードが速いほど、撮影した画像はぶれにくくなるが、速いほど画像は暗くなる。そのため、試写して適切な値とする。ISO 値は、画像のノイズに影響を与える。ISO 値を高くするほど、撮影した画像は、明るくなるがノイズが目立ちやすくなる。そのため ISO 値は 400 以下に抑えて撮影する。F 値は、撮影のピントに影響を与える。F 値が低いと焦点部分以外の背景がぼやけてしまう。F8 を標準とし試写をして適切な値とする。露出は、画像の明るさに影響する。露出補正がプラス値の場合は、明るい写真となる。そのため、露出は、適宜モニタを確認して撮影写真の明るさを調整する必要がある。

本実証では、上記の設定の内、焦点距離、シャッター速度、ISO 値、F 値をオートモードとしてカメラに最適な撮影設定を決定させた。そのため、撮影者は、建築ドローン飛行管理責任者の指示のもと、露出のみを操作し、撮影する条件とした。

結果として、ターゲットの視認性に優れた機体は、E であり、視認性に欠けた機体は、B、C、F となった。機体 E は、他の機体に対して、撮影条件に適したカメラとレンズを取付けられることから、本実証では、焦点距離 85mm のレンズを使用したため、ターゲットに近接して鮮明な視認性に優れた画像を取得する事が出来た。この、焦点距離に関しては、他の機体で、20mm～25mm となるため、他の機体は広範囲の撮影が可能となった。視認性に欠けた機体 B、C、D については、センササイズが小さいわけでも、解像度が低いわけでもない。しかし、センササイズや解像度の低い機体 A、D より視認性に欠けたのには、以下のことが考えられる。

- ・ 機体 A と機体 B、C、F の F 値を見比べると、視認性に欠けた機体は、F 値が低い。そのため、ターゲットに焦点が合っておらず、画像を拡大するとぼやけてしま

った。機体 A は、F 値が大きく、全体的にピントが合い、画像を拡大しても多少のぼやけで済んだと考える。

- ・ F 値が低いことから、光を取り込みすぎたためぼやけてしまった。

以上の点から、機体 B、C、F は、視認性に欠けたと考える。そのため、カメラの設定をオートでなく適切な F 値とそれに伴うシャッター速度、ISO 値に変更した場合は、センサーサイズや解像度の良い機体 B、C、F の視認性が良くなったと考える。上記したカメラやレンズの性能、カメラ設定を被写体と撮影条件に対して適切にしなければ、精度の高い成果が得られない。精度の高い成果が得られないと、外壁におけるクラックの幅やクラックの状況が詳細にわからず、適切な診断をすることが出来なくなってしまう。

3 原色の発色の違いについては、機体 A、E、D の発色が良く、機体 C の発色が悪い結果となった。これらの発色に関する違いは、各メーカーの発色基準に起因すると考える。これらの発色に関しては、撮影した写真を確認してわかる事のため、診断に必要な発色の基準を設けて、写真の発色が適切な物かを事前に判断する必要がある。

建築物外壁の点検においては、カメラやレンズの性能とカメラの設定を机上調査し、現地で机上調査を基にした試し撮りをして、撮影した写真を確認しつつ再度、適切な設定に変える必要がある。

それぞれの飛行方法の撮影画像を以下に示す。



図 58 係留装置なし、1 点係留、2 点係留の撮影画像
(左) 係留なし、(中央) 1 点係留、(右) 2 点係留

i) 係留方法の比較

① 結果

機体 B と D の係留の比較結果を以下に示す。

表 59 係留比較による実証結果

係留装置		1点係留				2点係留			
計測時間 1min		B		D		B		D	
		移動距離(cm)		移動距離(cm)		移動距離(cm)		移動距離(cm)	
操 作 者②	前後	-5	0	0	40	-5	0	-10	0
	左右	0	-5	5	-65	10	-5	10	-10
	標準偏差	3		38		6		8	
	風速	MAX 1.6	AVG 0.7	MAX 1.5	AVG 0.5	MAX 1.3	AVG 0.8	MAX 2.2	AVG 0.7
	GNSS	21		11		20 (ATTI)		12 (マニュアル)	
操 作 者③	前後	0	0	0	40	-5	0	-10	0
	左右	0	-5	25	-5	10	0	10	-10
	標準偏差	2		18		5		8	
	風速	MAX 1.0	AVG 0.4	MAX 1.5	AVG 0.5	MAX 2.2	AVG 1.1	MAX 2.2	AVG 0.8
	GNSS	21		13		20 (ATTI)		8 (マニュアル)	
操 作 者①	前後	0	5	0	40	-10	0	-10	0
	左右	5	0	50	0	10	-10	10	-10
	標準偏差	3		23		8		8	
	風速	MAX 1.4	AVG 0.5	MAX 1.5	AVG 0.5	MAX 2.2	AVG 0.9	MAX 2.2	AVG 0.8
	GNSS	24		15		20 (ATTI)		12 (マニュアル)	
操 作 者④	前後	0	0	0	150	-5	0	-10	0
	左右	10	0	305	0	5	-10	10	-10
	標準偏差	4		126		6		8	
	風速	MAX 1.3	AVG 0.5	MAX 3.3	AVG 0.7	MAX 2.7	AVG 0.9	MAX 2.2	AVG 0.8
	GNSS	24		12		22 (ATTI)		12 (マニュアル)	
操 作 者②	前後	0	5	0	450	-5	0	-10	0
	左右	5	0	165	0	10	-5	5	-5
	標準偏差	3		184		6		6	
	風速	MAX 1.4	AVG 0.7	MAX 3.3	AVG 0.7	MAX 2.7	AVG 0.8	MAX 2.4	AVG 0.8
	GNSS	24		9		21 (ATTI)		10 (マニュアル)	
		11/27 11:56 ~12:20		11/28 11:40 ~12:00		11/29 14:15 ~14:26		11/29 14:30 ~14:49	

② 評価・分析

結果より、機体 D において、1 点係留の場合の標準偏差は、大きかった。対して、2 点係留の場合の標準偏差は、小さかった。これは、2 点係留の場合、機体の位置を 2 点で緊張された係留索により制御されることによる。

このことから、2 点係留は、標準偏差の大きい制御性の低い機体への対処が、容易であることがわかる。

主索より係留索を取り出した場合の係留状況を以下に示す。

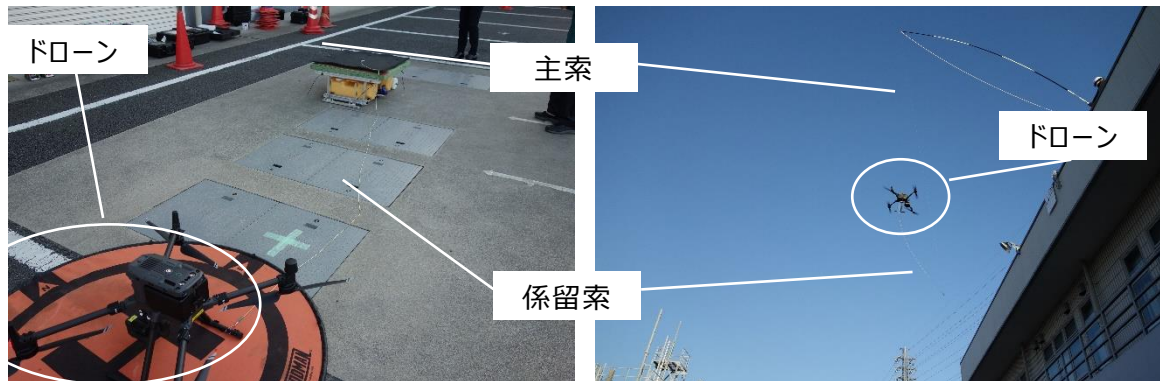


図 59 主索より係留索を取り出した場合の係留状況

j) 可視画像比較（環境影響）

① 結果

実証時の周囲の状況を図 60 に示す。昼間に撮影した撮影画像を表 60～表 63 に示す。各係留装置で昼間に撮影した撮影画像の精度の比較を表 64 可視画像比較（環境影響）夕刻

別添の高画質画像を貼り付けた資料にて提出

表 65 に示す。夕刻に撮影した撮影画像の比較を表 66～表 69 に示す。各係留装置で夕刻に撮影した撮影画像の比較を表 70 に示す。

撮影画像の比較における数値や文章の色分けについて、青色は、撮影精度が良い場合で、赤色は、撮影精度が悪い場合となる。

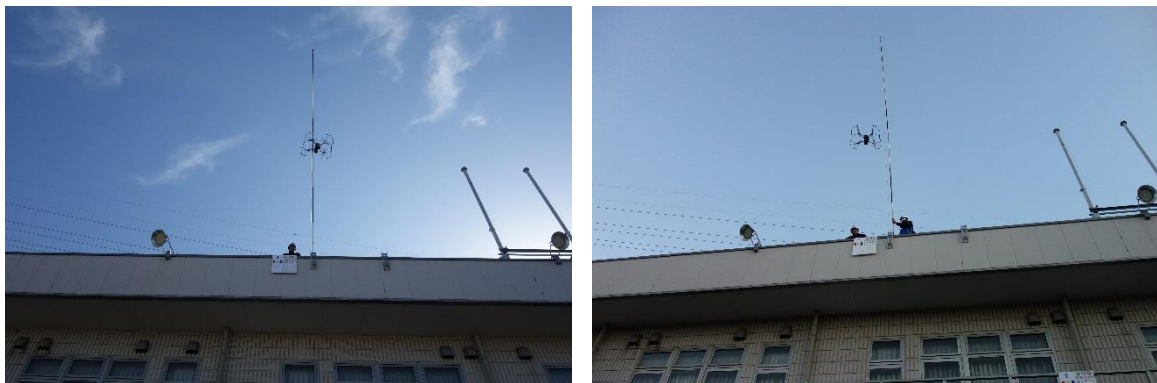


図 60 環境影響による可視画像比較状況
同現場(左)12 時 26 分撮影、(右)16 時 44 分撮影

表 60 可視画像比較（環境影響）昼間 1点係留

実験名称	j,可視画像撮影（環境影響）昼間							
係留方法	1点係留							
機体	A	B	C	D	E	F	G	
撮影写真								-
撮影日時	2023/11/29 9:40	2023/11/29 9:53	2023/11/29 10:09	2023/11/29 10:23	2023/11/29 10:42	2023/11/29 10:54	-	
風速AVG(m/s)	0	1	1.1	0.5	1.5	0.5	-	
GNSS	14	19	16	8	9	-	-	
写真情報	画素 5472 x 3648 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア v01.07.1641 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/125 絞り値 F4.5 焦点距離 8.80mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ ストロボ機能無し 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 11.00.01.86 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/180 絞り値 F2.8 焦点距離 4.40mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -0.3EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 4056 x 3040 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 07.00.01.05 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO120 シャッター 1/320 絞り値 F2.8 焦点距離 4.50mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +0.3EV 最小F値 F2.8 測光方式 スポット フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 5448 x 3632 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 1.13 ISO感度 ISO160 シャッター 1/500 絞り値 F2.8 焦点距離 10.2mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +0.7EV 最小F値 F2.8 被写体距離 32.1m 35mm換算焦点距離 28mm WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 9504 x 6336 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア ILCE-7RM4 v1.20 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/160 絞り値 F7.1 焦点距離 85.0mm レンズ FE マルプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F1.8 測光方式 パターン フラッシュ 強制非発光 35mm換算焦点距離 85mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア V0.3.3.0 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/320 絞り値 F1.8 焦点距離 4.74mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -0.3EV 最小F値 F1.8 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 26mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動		-

表 61 可視画像比較（環境影響）昼間 1点係留







実験名称	j,可視画像撮影（環境影響）昼間						
係留方法	1点係留						
機体	A	B	C	D	E	F	G
撮影写真							-
撮影日時	2023/11/29 9:43	2023/11/29 9:55	2023/11/29 10:10	2023/11/29 10:24	2023/11/29 10:44	2023/11/29 10:56	-
風速AVG(m/s)	0	1	1.1	0.5	1.5	0.5	-
GNSS	14	19	16	8	9	-	-
写真情報	画素 5472 x 3648 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア v01.07.1641 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/500 絞り値 F6.3 焦点距離 8.80mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +0.7EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ ストロボ機能無し 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 11.00.01.86 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/2000 絞り値 F2.8 焦点距離 4.40mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 スポット フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 4056 x 3040 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 07.00.01.05 ISO感度 ISO110 シャッター 1/800 絞り値 F2.8 焦点距離 4.50mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +0.3EV 最小F値 F2.8 測光方式 スポット フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 5448 x 3632 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 1.13 ISO感度 ISO125 シャッター 1/800 絞り値 F2.8 焦点距離 10.2mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +1.0EV 最小F値 F2.8 被写体距離 4294967.3m 35mm換算焦点距離 28mm WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 9504 x 6336 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア ILCE-7RM4 v1.20 レーティング 0 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO200 シャッター 1/1000 絞り値 F6.3 焦点距離 85.0mm レンズ FE 85mm F1.8 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +0.3EV 最小F値 F1.8 測光方式 平均測光 フラッシュ 強制非発光 35mm換算焦点距離 85mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア V0.3.3.0 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/1000 絞り値 F1.8 焦点距離 4.74mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +0.7EV 最小F値 F1.8 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 26mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	-

表 62 可視画像比較（環境影響）昼間 2点係留

実験名称	j,可視画像撮影（環境影響）昼間						
係留方法	2点係留						
機体	A	B	C	D	E	F	G
撮影写真							-
撮影日時	2023/11/29 11:44	2023/11/29 12:02	2023/11/30 9:44	2023/11/29 12:25	2023/11/30 10:00	2023/11/29 12:42	-
風速AVG(m/s)	0.6	0.8	0.5	0	0.9	0.3	-
GNSS	7(ATTI)	12(ATTI)	27	6(マニュアル)	19	-	-
写真情報	画素 5472 x 3648 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア v01.07.1641 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/125 絞り値 F4.5 焦点距離 8.80mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +0.3EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ ストロボ機能無し 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 11.00.01.86 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/180 絞り値 F2.8 焦点距離 4.40mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 スポット測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 4056 x 3040 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 07.00.01.05 ISO感度 ISO100 シャッター 1/160 絞り値 F2.8 焦点距離 4.50mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +0.7EV 最小F値 F2.8 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 5448 x 3632 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 1.13 ISO感度 ISO200 シャッター 1/500 絞り値 F2.8 焦点距離 10.2mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +1.0EV 最小F値 F2.8 被写体距離 2.27m 35mm換算焦点距離 28mm WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 9504 x 6336 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア ILCE-7RM4 v1.20 レーティング 0 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO200 シャッター 1/640 絞り値 F4.5 焦点距離 85.0mm レンズ FE 85mm F1.8 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +0.3EV 最小F値 F1.8 測光方式 平均測光 フラッシュ 強制非発光 35mm換算焦点距離 85mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア V0.3.3.0 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/250 絞り値 F1.8 焦点距離 4.74mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F1.8 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 26mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	-

表 63 可視画像比較（環境影響）昼間 2点係留

実験名称	j,可視画像撮影（環境影響）昼間						
係留方法	2点係留						
機体	A	B	C	D	E	F	G
撮影写真							-
撮影日時	2023/11/29 11:42	2023/11/29 12:01	2023/11/30 9:43	2023/11/29 12:24	2023/11/30 9:58	2023/11/29 12:41	-
風速AVG(m/s)	0.6	0.8	0.5	0	0.9	0.3	-
GNSS	7(ATTI)	12(ATTI)	27	6(マニュアル)	19	-	-
写真情報	画素 5472 x 3648 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア v01.07.1641 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/400 絞り値 F5.6 焦点距離 8.80mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +0.7EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ ストロボ機能無し 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 11.00.01.86 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/1250 絞り値 F2.8 焦点距離 4.40mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +0.3EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 スポット測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 4056 x 3040 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 07.00.01.05 ISO感度 ISO110 シャッター 1/800 絞り値 F2.8 焦点距離 4.50mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +1.0EV 最小F値 F2.8 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 5448 x 3632 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 1.13 ISO感度 ISO125 シャッター 1/640 絞り値 F2.8 焦点距離 10.2mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +1.3EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.88m 35mm換算焦点距離 28mm WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 9504 x 6336 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア ILCE-7RM4 v1.20 レーティング 0 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO200 シャッター 1/1000 絞り値 F5.6 焦点距離 85.0mm レンズ FE 85mm F1.8 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +0.7EV 最小F値 F1.8 測光方式 平均測光 フラッシュ 強制非発光 35mm換算焦点距離 85mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア V0.3.3.0 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/800 絞り値 F1.8 焦点距離 4.74mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +0.7EV 最小F値 F1.8 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 26mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	-

表 64 可視画像比較（環境影響）夕刻
別添の高画質画像を貼り付けた資料にて提出
表 65 可視画像比較（環境影響）昼間

j,可視画像撮影（環境影響）昼間						
係留方法	1点係留			2点係留		
機体 A	ターゲット 1	ターゲット 4	平均	ターゲット 1	ターゲット 4	平均
視認クラックスケール幅(mm)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
視認三原色	彩色確認可能			彩色確認可能		
視認ランドルト環範囲	1.2	1.2	1.20	1.0	1.0	1.00
機体 B	ターゲット 1	ターゲット 4	平均	ターゲット 1	ターゲット 4	平均
視認クラックスケール幅(mm)	0.30	0.10	0.20	0.10	0.10	0.10
視認三原色	周囲のぼやけ			周囲のぼやけ		
視認ランドルト環範囲	0.8	1.0	0.90	0.6	0.8	0.70
機体 C	ターゲット 1	ターゲット 4	平均	ターゲット 1	ターゲット 4	平均
視認クラックスケール幅(mm)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
視認三原色	発色が悪い			発色が悪い		
視認ランドルト環範囲	0.6	0.9	0.75	0.6	0.4	0.50
機体 D	ターゲット 1	ターゲット 4	平均	ターゲット 1	ターゲット 4	平均
視認クラックスケール幅(mm)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
視認三原色	彩色確認可能			彩色確認可能		
視認ランドルト環範囲	1.2	1.0	1.10	0.7	1.2	0.95
機体 E	ターゲット 1	ターゲット 4	平均	ターゲット 1	ターゲット 4	平均
視認クラックスケール幅(mm)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
視認三原色	彩色確認可能			彩色確認可能		
視認ランドルト環範囲	2.0	2.0	2.00	2.0	2.0	2.00
機体 F	ターゲット 1	ターゲット 4	平均	ターゲット 1	ターゲット 4	平均
視認クラックスケール幅(mm)	0.05	0.10	0.08	0.05	0.05	0.05
視認三原色	線にシャープさがない			線にシャープさがない		
視認ランドルト環範囲	0.6	0.6	0.60	0.7	0.8	0.75

表 66 可視画像比較（環境影響）夕刻 1点係留

実験名称	j,可視画像撮影（環境影響）夕刻						
係留方法	1点係留						
機体	A	B	C	D	E	F	G
撮影写真							-
撮影日時	2023/11/28 15:24	2023/11/28 15:36	2023/11/28 15:47	2023/11/28 15:58	2023/11/28 16:12	2023/11/28 16:25	-
風速AVG(m/s)	1.5	1.8	1	0	1.0	0.5	-
GNSS	10	19	15	15	18	-	-
写真情報	画素 5472 x 3648 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア v01.07.1641 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/100 絞り値 F4.0 焦点距離 8.80mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ ストロボ機能無し 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 11.00.01.86 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/100 絞り値 F2.8 焦点距離 4.40mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -0.3EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 4056 x 3040 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 07.00.01.05 ISO感度 ISO120 シャッター 1/125 絞り値 F2.8 焦点距離 4.50mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -0.3EV 最小F値 F2.8 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 5448 x 3632 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 1.13 ISO感度 ISO500 シャッター 1/250 絞り値 F2.8 焦点距離 10.2mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +1.0EV 最小F値 F2.8 被写体距離 18.6m 35mm換算焦点距離 28mm WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 9504 x 6336 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア ILCE-7RM4 v1.20 レーティング 0 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO200 シャッター 1/200 絞り値 F2.8 焦点距離 85.0mm レンズ FE 85mm F1.8 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F1.8 測光方式 平均測光 フラッシュ 強制非発光 35mm換算焦点距離 85mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア V0.3.3.0 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO400 シャッター 1/15 絞り値 F1.8 焦点距離 4.74mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -0.3EV 最小F値 F1.8 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 26mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホ ホワイトバランス自動	-

表 67 可視画像比較（環境影響）夕刻 1点係留

実験名称	j,可視画像撮影（環境影響）夕刻						
係留方法	1点係留						
機体	A	B	C	D	E	F	G
撮影写真							-
撮影日時	2023/11/28 15:26	2023/11/28 15:37	2023/11/28 15:48	2023/11/28 16:00	2023/11/28 16:14	2023/11/28 16:27	-
風速AVG(m/s)	1.5	1.8	1	0	1.0	0.5	-
GNSS	10	19	15	15	18	-	-
写真情報	画素 5472 x 3648 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア v01.07.1641 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/250 絞り値 F5.0 焦点距離 8.80mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +0.3EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ ストロボ機能無し 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 11.00.01.86 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/500 絞り値 F2.8 焦点距離 4.40mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 4056 x 3040 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 07.00.01.05 ISO感度 ISO110 シャッター 1/350 絞り値 F2.8 焦点距離 4.50mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +0.3EV 最小F値 F2.8 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 5448 x 3632 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 1.13 ISO感度 ISO400 シャッター 1/500 絞り値 F2.8 焦点距離 10.2mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +1.3EV 最小F値 F2.8 被写体距離 59.3m 35mm換算焦点距離 28mm WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 9504 x 6336 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア ILCE-7RM4 v1.20 レーティング 0 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO200 シャッター 1/320 絞り値 F3.2 焦点距離 85.0mm レンズ FE 露出補正 -0.3EV 最小F値 F1.8 測光方式 平均測光 フラッシュ 強制非発光 35mm換算焦点距離 85mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア V0.3.3.0 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO200 シャッター 1/30 絞り値 F1.8 焦点距離 4.74mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -0.3EV 最小F値 F1.8 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 26mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	-

表 68 可視画像比較（環境影響）夕刻 2点係留







実験名称	j,可視画像撮影（環境影響）夕刻						
係留方法	2点係留						
機体	A	B	C	D	E	F	G
撮影写真							-
撮影日時	2023/11/29 16:03	2023/11/29 16:16	2023/11/29 15:21	2023/11/29 16:31	2023/11/29 15:38	2023/11/29 16:46	-
風速AVG(m/s)	0	0	0.5	0.6	0.0	0	-
GNSS	10 (ATTI)	19 (ATTI)	11	12(マニュアル)	15	-	-
写真情報	画素 5472 x 3648 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア v01.07.1641 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/80 絞り値 F3.5 焦点距離 8.80mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -0.3EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ ストロボ機能無し 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 11.00.01.86 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO350 シャッター 1/90 絞り値 F2.8 焦点距離 4.40mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -0.3EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 スポット フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 4056 x 3040 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 07.00.01.05 ISO感度 ISO110 シャッター 1/125 絞り値 F2.8 焦点距離 4.50mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +0.7EV 最小F値 F2.8 測光方式 スポット フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 5448 x 3632 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 1.13 ISO感度 ISO800 シャッター 1/60 絞り値 F2.8 焦点距離 10.2mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +1.0EV 最小F値 F2.8 被写体距離 5.00m 35mm換算焦点距離 28mm WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 9504 x 6336 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア ILCE-7RM4 v1.20 レーティング 0 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO200 シャッター 1/400 絞り値 F4.0 焦点距離 85.0mm レンズ FE マルプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F1.8 測光方式 平均測光 フラッシュ 強制非発光 35mm換算焦点距離 85mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア V0.3.3.0 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO400 シャッター 1/8 絞り値 F1.8 焦点距離 4.74mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -0.3EV 最小F値 F1.8 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 26mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	-

表 69 可視画像比較（環境影響）夕刻 2点係留







実験名称	j,可視画像撮影（環境影響）夕刻						
係留方法	2点係留						
機体	A	B	C	D	E	F	G
撮影写真							-
撮影日時	2023/11/29 16:02	2023/11/29 16:15	2023/11/29 15:20	2023/11/29 16:30	2023/11/29 15:37	2023/11/29 16:45	-
風速AVG(m/s)	0	0	0.5	0.6	0.0	0	-
GNSS	10 (ATTI)	19 (ATTI)	11	12(マニュアル)	15	-	-
写真情報	画素 5472 x 3648 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア v01.07.1641 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO100 シャッター 1/125 絞り値 F4.5 焦点距離 8.80mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ ストロボ機能無し 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 11.00.01.86 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO120 シャッター 1/100 絞り値 F2.8 焦点距離 4.40mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F2.8 被写体距離 0.00m 測光方式 スポット フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 4056 x 3040 ピクセル 回転 回転なし ソフトウェア (1) メーカー DJI モデル ZH20T 色空間 sRGB ソフトウェア 07.00.01.05 ISO感度 ISO110 シャッター 1/200 絞り値 F2.8 焦点距離 4.50mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +1.0EV 最小F値 F2.8 測光方式 スポット フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 24mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 5448 x 3632 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア 1.13 ISO感度 ISO800 シャッター 1/125 絞り値 F2.8 焦点距離 10.2mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 +1.3EV 最小F値 F2.8 被写体距離 5.00m 35mm換算焦点距離 28mm WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 9504 x 6336 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア ILCE-7RM4 v1.20 レーティング 0 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO200 シャッター 1/500 絞り値 F4.5 焦点距離 85.0mm レンズ FE 85mm F1.8 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 0.0EV 最小F値 F1.8 測光方式 平均測光 フラッシュ 強制非発光 35mm換算焦点距離 85mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	画素 8000 x 6000 ピクセル 色空間 sRGB ソフトウェア V0.3.3.0 個別画像処理 通常処理 ISO感度 ISO400 シャッター 1/8 絞り値 F1.8 焦点距離 4.74mm 露出Program ノー マルプログラム 露出補正 -0.3EV 最小F値 F1.8 測光方式 中央重点平均測光 フラッシュ 非発光 35mm換算焦点距離 26mm 露出モード 露出自動 WhiteBalance ホワイトバランス自動	-

表 70 可視画像比較（環境影響）夕刻

j,可視画像撮影（環境影響）夕刻								
係留方法	ターゲット	確認対象	機体 A	機体 B	機体 C	機体 D	機体 E	機体 F
1 点係留	①	視認クラックスケール幅 (mm)	0.10	0.10	0.05	0.30	0.05	0.05
		視認三原色	彩色確認可能	周囲のぼやけ	発色が悪い	彩色確認可能	彩色確認可能	線にシャープさがない
		視認ランドルト環範囲	1.0	0.5	0.5	1.0	2.0	0.6
	④	視認クラックスケール幅 (mm)	0.05	0.10	0.05	0.05	0.05	0.10
		視認三原色	彩色確認可能	周囲のぼやけ	発色が悪い	彩色確認可能	彩色確認可能	線にシャープさがない
		視認ランドルト環範囲	0.9	0.7	0.7	1.0	2.0	0.7
	平均	視認クラックスケール幅 (mm)	0.08	0.10	0.05	0.18	0.05	0.08
		視認三原色	彩色確認可能	周囲のぼやけ	発色が悪い	彩色確認可能	彩色確認可能	線にシャープさがない
		視認ランドルト環範囲	0.95	0.60	0.60	1.00	2.00	0.65
2 点係留	①	視認クラックスケール幅 (mm)	0.05	0.30	0.05	0.05	0.05	0.50
		視認三原色	彩色確認可能	周囲のぼやけ	発色が悪い	彩色確認可能	彩色確認可能	線にシャープさがない
		視認ランドルト環範囲	0.7	0.7	0.6	0.9	2.0	0.4
	④	視認クラックスケール幅 (mm)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.50
		視認三原色	彩色確認可能	周囲のぼやけ	発色が悪い	彩色確認可能	彩色確認可能	線にシャープさがない
		視認ランドルト環範囲	1.0	0.7	0.5	1.0	2.0	0.3
	平均	視認クラックスケール幅 (mm)	0.05	0.18	0.05	0.05	0.05	0.50
		視認三原色	彩色確認可能	周囲のぼやけ	発色が悪い	彩色確認可能	彩色確認可能	線にシャープさがない
		視認ランドルト環範囲	0.85	0.70	0.55	0.95	2.00	0.35

② 評価・分析

以上の結果より、機体ごとの j) 可視画像比較（環境影響）においては、h) 可視画像撮影（精度）の結果と比較しても大差のない結果となった。ターゲットの視認性に優れた機体は、E であり、視認性に欠けた機体は、B、C、F となった。環境影響について、昼間と夕刻を比較した場合には、結果の数値より、昼間の方が全機体を通してターゲットの視認性が良く、夕刻になるにつれ、視認性が悪くなった。環境影響による視認性の変化は、以下の事が原因と考える。

- ・シャッター速度の変化により画像がブレたこと。
- ・ISO 値の変化によるノイズが増えたこと。

以上の点から、夕刻に撮影した画像の視認性が悪くなったと考える。

シャッター速度については、撮影環境の明るさが起因する。昼間の場合は、周囲が明るく、カメラの光を取り込む量が多いことから、シャッター速度が速くても明るい写真が撮れる。逆に、夕刻の場合は、周囲が暗く、カメラの光を取り込む量が少ないことから、シャッター速度を遅くしないと明るい写真が撮れない。オートモードのカメラは、写真を適切な明るさにするため、シャッター速度を遅くして、明るい写真を撮影しようとする。シャッター速度が遅くなるとブレを発生させるため、視認性が悪くなったと考える。表 60～表 63 と表 66～表 69 の比較により昼間と夕刻のシャッター速度を比較すると、昼間より夕刻のシャッター速度の方が遅くなっていることがわかる。

ISO 値については、変更することで光の取り込む量を調整することができる。しかし、ISO 値を上げてしまうとノイズが発生しやすくなってしまふ。オートモードのカメラは、写真を適切な明るさにするため、ISO 値を上げて、明るい写真を撮影しようとする。そのため、ノイズが発生し、視認性が悪くなったと考えられる。表 60～表 63 と表 66～表 69 の比較により昼間と夕刻の ISO 値を比較すると、昼間より夕刻の ISO 値の方が上がっていることがわかる。

以上のことから、点検における撮影で視認性の高い画像が必要な場合は、昼間の明るい時間帯に撮影する方が良いと考える。

(工) 各係留装置の作業実行可否（信頼性）比較

① 結果

係留装置ごとに信頼性が変化する。本実証でドローンを操作した操作者 2 名と建築ドローン飛行管理責任者に対して実施したアンケートの結果を表 71～表 73 に示す。なお、表の文字の色分けについては、青色を良い評価とし、赤色を悪い評価とする。

表 71 係留装置なしの場合の作業実行可否(作業へのリスク等を確認) 各機体の操作性アンケート

係留装置なしの場合の作業実行可否(作業へのリスク等を確認) 各機体の操作性アンケート							
機体	A	B	C	D	E	F	G
操作者							
①	GPS の取得が少ない状況では、機体ホバリングの安定が落ちることもありますので、撮影時は安定するまで作業実行がリスク回避になるかと思えます。	最新な機体のため、GPS 取得も非常に多く、簡易に作業実行の飛行を行えました。	最新な機体のため、GPS 取得も非常に多く、簡易に作業実行の飛行を行えました。	GPS の取得が少ない状況では、ホバリングの安定性が少し低く感じました。機体ホバリングの制御をしながらの作業実行となるため、ドローンの訓練されていない方が実施するとリスクがあるかもしれません。	操作舵も非常に扱いやすく、簡易に作業実行の飛行を行えました。ただ、監視用ソフトの撮影時確認（シャッター音）が不明確なため、撮影漏れの可能性は出るかと思えます。また、バッテリー枯渇も作業リスクになるかと思えます。	機体の操作は安定飛行をし、安心・安全にて飛行を行えました。ただ、監視用ソフトの撮影時確認（シャッター音）が不明確なため、撮影漏れの可能性は出るかと思えます。	VisualSLAM 環境下では、機体が不得意な状況下（動体や細いもの）でなければ、非 GPS 環境下では安全・安心して作業実行可能です。
②	コメントなし。	コメントなし。	-コメントなし。	コメントなし。	コメントなし。	コメントなし。	コメントなし。
⑤	不可：風に対して機体安定性が低い。	可。	可。	不可：係留なしでは機体安定性が低く一番フライアウェイし易いと感じた。	不可：制動距離が多きいで建物点検等の点検作業には不向き。	可：現状本機体はマニュアルによる GNSS 利用モードと ATTI モードの切り替えに対応していない為、係留なしの利用が最適と考える。	可。

表 72 1点係留装置の場合の作業実行可否(作業へのリスク等を確認) 各機体の操作性アンケート

1点係留装置の場合の作業実行可否(作業へのリスク等を確認) 各機体の操作性アンケート							
機体	A	B	C	D	E	F	G
操作者							
①	GPSの取得が少ない状況では、機体ホバリングの安定が落ちることもありますので、撮影時は安定するまで作業実行がリスク回避になるかと思えます。	最新な機体のため、GPS取得も非常に多く、簡易に作業実行の飛行を行えました。	最新な機体のため、GPS取得も非常に多く、簡易に作業実行の飛行を行えました。	GPSの取得が少ない状況では、ホバリングの安定性が少し低く感じました。機体ホバリングの制御をしながらの作業実行となるため、ドローンの訓練されていない方が実施するとリスクがあるかもしれません。	係留無しに比べて、障害物センサの検知により、細かな位置調整が動かないパターンがございました。また、監視用ソフトの撮影時確認（シャッター音）が不明確なため、撮影漏れの可能性は出るかと思えます。また、バッテリー枯渇も作業リスクになるかと思えます。	機体の操作は安定飛行をし、安心・安全にて飛行を行えました。ただ、監視用ソフトの撮影時確認（シャッター音）が不明確なため、撮影漏れの可能性は出るかと思えます。	コメントなし。
②	GPSが切れたときに ATTI で操作する必要があるので、ある程度の訓練をしたパイロットなら問題ないと思います。	今回の飛行では建物付近でもGPSが切れることなく安定して飛行できていたので、経験がすくないパイロットでも飛ばせると思いました。ただ、着陸時にセンサが反応する場合がありますのでそこは意識して着陸する必要があります。	特に問題なく作業できると思います。	ホバリングが安定せず撮影設定も他機種と比べすぐにはできないので、かなり操作に慣れてからの方が安全かなと思いました。	足の自動折り畳みに気を付ければ大丈夫なのかなと思います。ダウンウォッシュが強いので機体に係留の紐をつける際は位置には気を付けないと巻き込みが危ないと思いました。	離陸する際は勢いよく離陸しないように注意すれば大丈夫だと思います。あとはセンサが反応して思った通りに動かなときがあるので、落ち着いて操作すれば問題ないと思います。	コメントなし。
⑤	可。	可。	可。	不可：1) Loiterモードで各種センサが入った状態ではホバリングが安定しない。2) HDMI端子のあるスマート送信機を利用すれば補助者による位置確認・露出調整等容易になると考える。	不可：制動距離が長いので建物点検等の点検作業には不向き。	不可：現状本機体はマニュアルによるGNSS利用モードとATTIモードの切り替えに対応していない為、係留索の利用は不可と考える。(今後のFirmWareのVerUPを期待)	不可：現状ではセンサが係留索を検知して離陸できない。

表 73 2点係留装置の場合の作業実行可否(作業へのリスク等を確認) 各機体の操作性アンケート

2点係留装置の場合の作業実行可否(作業へのリスク等を確認) 各機体の操作性アンケート							
機体	A	B	C	D	E	F	G
操作者							
①	センサ関連は全てOFFにしてありますが、機体が非常に不安定になることが多くあったため、 操作は気を付けられないと安全性が低下する かと思えます。ノーコントロールになる可能性もあるので、必ずフライト前には ATTI にて作業のリスク低減が必要 かと思えます。	センサ関連は全て OFF にすると、 安全・安心して飛行 を行えました。	GPS 取得での主索 + 係留索の実施となるので、 一点係留と変わらない操作感 となりました。ただ、係留索を移動する際は、主索が見えなくなる環境が生じますので、係留索に絡まりがないかなど、監視員とコミュニケーションを取りながら実施しないと、 セーフティーポートなどに紐が絡まるリスクがあるので注意が必要 。	センサ関連は全て OFF 実施にて、 1 点係留に比べて安定した飛行 となりました。	機体 C に比べて、障害物センサの検知により、 細かな位置調整が動かないパターン がございました。同様に、係留索を移動する際は、主索が見えなくなる環境が生じますので、係留索に絡まりがないかなど、監視員とコミュニケーションを取りながら実施しないと、 セーフティーポートなどに紐が絡まるリスクがあるので注意が必要 。	GPS 制御が効かないため、 係留と自身の制御で非常に不安定な動作 となりました。着陸時に機体がまだフライトしていると勘違いを起し、プロペラ停止されない事象が発生したので、 着陸後の対策としてリスクがある ということを念頭に 実行が良い かと思えます。	コメントなし。
②	低空で暴れますが、2 点でしっかりと係留しているので 落ち着いて操作できれば問題ない と思えます。	特に注意することなく 普段の飛行通り操作すれば問題ない と思えます。	主索を迂回して操作する必要があるので 機体の大きさを意識して操作すれば問題ない と思えます。ただこの時に主索に意識を取られて連結索を意識しないで操作してしまうと 下で引っ掛かっている可能性がある ので 注意する必要があります 。	2 点係留をしているので前後左右はそこまで動かないですが 上昇と下降がするので、そこを気を付ければ大丈夫 だと思います。	機体 C 同様に 機体の大きさ と 主索・連結索の位置関係 に 気を付ける必要があります 。またセンサが主索・連結索に反応することがあるので 機体の位置を調整しながら操作する必要があります 。	センサが反応して思った通りに動かない場面があったので、 落ち着いて対応する必要がある と思えます。特に下降ができないことがあるので 上昇する際は余裕を持たせた方がいい と思えます。	コメントなし。
⑤	可。	可。	可：1) Alt Hold モードで各種センサは切った状態が最良。2) HDMI 端子のあるスマート送信機を利用すれば補助者による位置確認及び露出調整等容易になると考える。	可：1) Alt Hold モードで各種センサは切った状態が最良。2) HDMI 端子のあるスマート送信機を利用すれば補助者による位置確認及び露出調整等容易になると考える。	不可：1) 現在のラインドローンシステムではブラケットの最大吊り強度 (10kgf) に対して 最大離陸重量 (7.5kgf) が大きく安全率が低い 。2) 制動距離が長いので 建物点検等の点検作業には不向き 。	不可：現状本機体はマニュアルによる GNSS 利用モードと ATTI モードの切り替えに対応していない為、 係留索の利用は不可 と考える。(今後の FirmWare の VerUP を期待)。	不可：現状ではセンサが係留索を検知して離陸できない。

② 評価・分析

作業実行可否(作業へのリスク等を確認) について、アンケート結果より、係留装置なしの場合は、機体 B、C、F、G について可と回答、機体 D のみ不可の回答になった。1 点係留の場合は、機体 B、C について可と回答、機体 D、G について不可の回答になった。2 点係留の場合は、機体 B、C、D について可と回答、機体 E、F、G について不可の回答になった。作業実行の可否に対しては、機体のホバリング性能、耐風性能、GNSS 受信性、撮影のしやすさ、制動距離による安全性、センサ性能、操作性について述べられていた。係留装置に対しては、係留索の巻き上げによる係留索の絡まり、センサを OFF にする場合の安定性、GNSS を使用しない飛行による安定性について述べられていた。

以上のことから、機体 B、C は、リスクに対応できる安定した機体と考える。また、係留装置がない状態で飛行する場合であれば、機体 G の選択肢もあり、2 点係留を使用する場合であれば、機体 D の選択も可能となる。点検内容と点検環境を調査したうえで、点検に適した機体を選び、実行に移す必要がある。

(オ) ドローン、係留装置の工数及びリードタイム比較

① 結果

ドローンや係留装置ごとに、作業内容が変化する。本実証では、ドローンの起動までにかかる時間と係留装置ごとの作業時間を計測し、比較する。ドローンの起動作業の状況を以下に示し、起動時間の計測結果を図 62 に示す。各種機体の起動時間を図 62 に示す。また、係留装置の設置作業状況を図 63 に示し、各種作業時間の計測結果表 74～表 76 に示す。

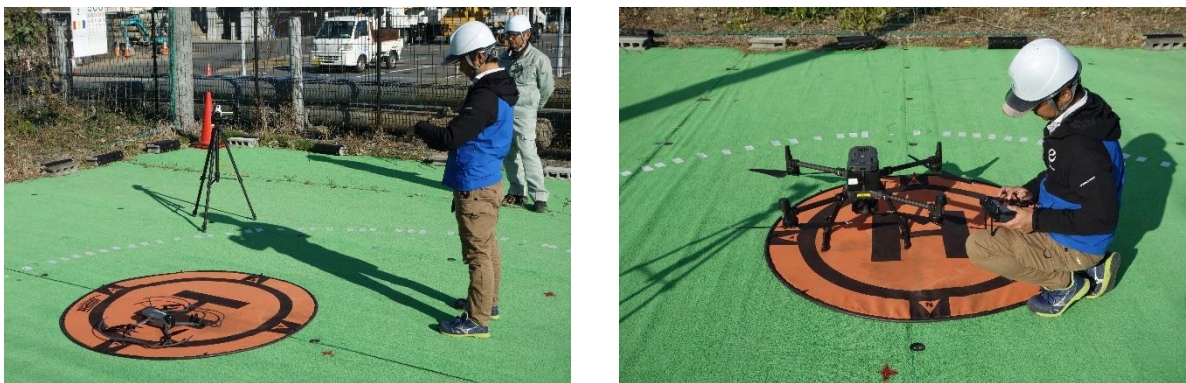


図 61 ドローン起動作業状況

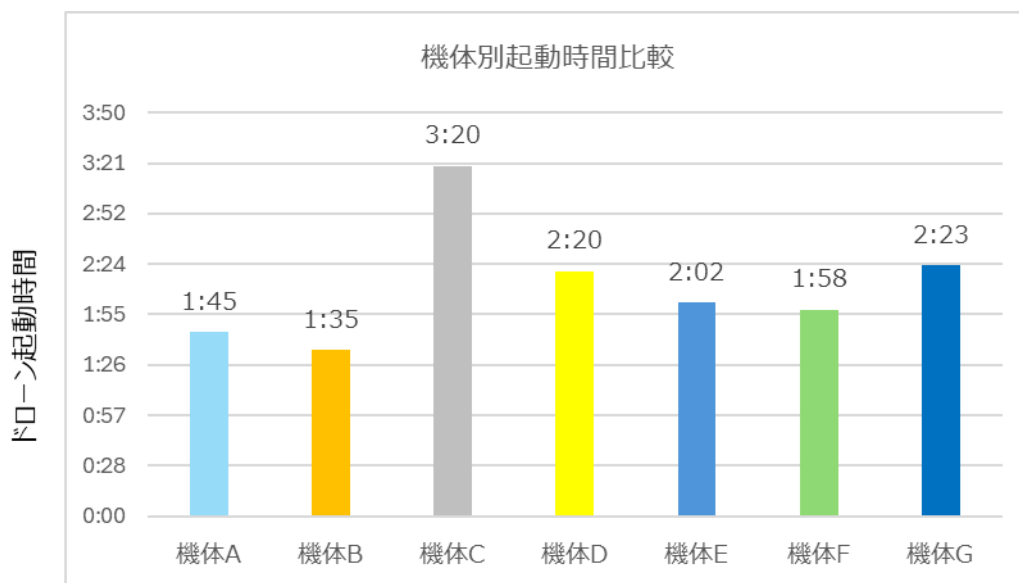


図 62 機体別起動時間比較

② 評価・分析

結果より、機体 B の起動時間は早く、機体 C の起動時間は長くなった。機体 C については、寒い環境下でバッテリーを発熱させてからでないとい飛行できないということもあり、起動に時間がかかった。飛行回数やバッテリーの交換回数、起動の回数が増える、大規模な建築物の点検の場合、時間のロスも大きくなる。1 点係留と 2 点係留の設置時間とドローン起動時間の合計は、大差がなかった。係留装置なしは、フライアウェイ等の対策ができない代わりに、機動性が高く、1 点係留は、ある程度の飛行範囲を確保できるが安全性に欠ける。それら 2 つの係留方法に対して、2 点係留は安全性が高いことや第三者立ち入り禁止措置の範囲を狭くできる代わりに、飛行範囲が制限されることと、飛行範囲を変更する際に装置の移動時間が必要となる。飛行範囲が制限されるため離着陸の回数も増えるため工数が上がる。点検する内容に合わせて適切な係留方法を使用する必要がある。

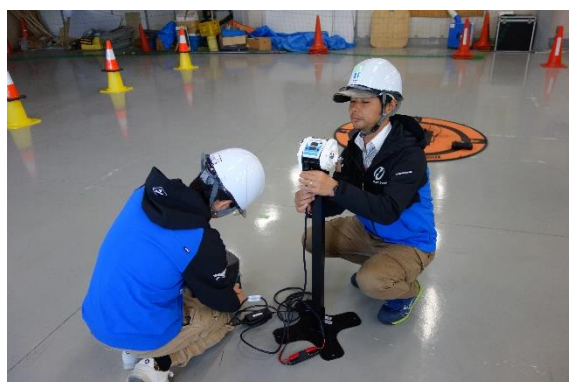


図 63 係留装置設置作業状況(左)1 点係留、(右)2 点係留

表 74 係留なし設置時間

係留装置なし			
	カラーコーン設置	ドローン起動時間	計
機体 A	15 分 00 秒	1 分 45 秒	16 分 45 秒
機体 B	15 分 00 秒	1 分 35 秒	16 分 35 秒
機体 C	15 分 00 秒	3 分 20 秒 (バッテリー加熱込み)	18 分 20 秒
機体 D	15 分 00 秒	2 分 20 秒	17 分 20 秒
機体 E	15 分 00 秒	2 分 02 秒	17 分 02 秒
機体 F	15 分 00 秒	1 分 58 秒	16 分 58 秒
機体 G	15 分 00 秒	2 分 23 秒	17 分 23 秒

表 75 1 点係留設置時間

1 点係留装置				
	カラーコーン設置	ドローン起動時間	1 点係留設置時間	計
機体 A	15 分 00 秒	1 分 45 秒	6 分 06 秒	22 分 51 秒
機体 B	15 分 00 秒	1 分 35 秒	6 分 06 秒	22 分 41 秒
機体 C	15 分 00 秒	3 分 20 秒 (バッテリー加熱込み)	6 分 06 秒	24 分 26 秒
機体 D	15 分 00 秒	2 分 20 秒	6 分 06 秒	23 分 26 秒
機体 E	15 分 00 秒	2 分 02 秒	6 分 06 秒	23 分 08 秒
機体 F	15 分 00 秒	1 分 58 秒	6 分 06 秒	23 分 04 秒
機体 G	15 分 00 秒	2 分 23 秒	6 分 06 秒	23 分 29 秒

表 76 2点係留設置時間

2点係留装置 (ラインドローンシステム)					
	ラインドローン システム 設置時間 (カラーコーン設 置時間を含む)	ドローン 起動時間	計	盛替え時間 (移動距離 4m)	計 (起動+盛替え)
機体 A	16分44秒	1分45秒	18分29秒	6分34秒	8分19秒
機体 B	16分44秒	1分35秒	18分19秒	6分34秒	8分09秒
機体 C	16分44秒	3分20秒 (バッテリー加 熱込み)	20分04秒	6分34秒	9分54秒
機体 D	16分44秒	2分20秒	19分04秒	6分34秒	8分54秒
機体 E	16分44秒	2分02秒	18分46秒	6分34秒	8分36秒
機体 F	16分44秒	1分58秒	18分42秒	6分34秒	8分32秒
機体 G	16分44秒	2分23秒	19分07秒	6分34秒	8分57秒

(カ) 係留装置のコスト比較

① 結果

係留装置ごとのコストをまとめた結果を以下に示す。係留装置ごとに、作業員の人数が変化する。なお、人工費用に関しては、ドローンによる点検業務を請け負う会社の費用を参照する。

表 77 係留装置のコスト比較

係留方法	初期費用（円）			人工費用（円）		
	係留装置	安全設備	合計費用	作業員	1 人工費用	1 日の人工合計費用
係留装置なし	0	210,000	210,000	建築ドローン 飛行管理責任者	53,600	198,800
				ドローン操作者	53,600	
				補助者	41,600	
				保安員(2名)	25,000	
1点係留	215,600	210,000	425,600	建築ドローン 飛行管理責任者	53,600	240,400
				ドローン操作者	53,600	
				係留操作者	41,600	
				補助者	41,600	
				保安員(2名)	25,000	
2点係留	370,000	35,000	405,000	建築ドローン 飛行管理責任者	53,600	282,000
				ドローン操作者	53,600	
				ブラケット保持者(2名)	41,600	
				補助者	41,600	
				保安員(2名)	25,000	

② 評価・分析

費用の算出結果より、初期費用では、係留装置や安全設備を購入する費用が発生する為、1点係留と2点係留の費用が高くなる。現場では、それぞれの係留方法に基づいた担当者がある為、担当者の人数が多い2点係留が高い結果となった。

(3) 総合評価

① 結果

ドローン機材性能評価 実施結果、分析結果を総合的に評価したものを以下の表 78 にまとめた。無人航空機操縦士資格保有者による、安定性、操作性の確認を同一条件下で行い比較評価した結果の総合的な評価の平均を目標基準とした。

② 評価・分析

- a) 総合評価より、評価項目（イ）ホバリング性能・急制動検証・操作性では、7機種中5機種が、目標基準を合格した。
- b) 係留に関する安全性では、6機種で安全性を確認、コスト比較を実施した。
- c) 可視画像精度では、7機種中4機種が、目標基準を合格した。
- d) 環境影響確認(夕方の撮影)では、6機種中3機種が、目標基準を合格した。

表 78 機体性能比較 (総合評価)

項目	No.			機体A	機体B	機体C	機体D	機体E	機体F	機体G		
基礎性能比較	a	機体サイズ実測	縦(mm)	520	550	1130	560	889	475	347		
			横(mm)	520	632	1255	635	635	587	420		
			斜め(mm)	625	695	1435	739	739	670	465		
			高さ(mm)	198	105	419	147	147	115	123		
			重量(g)	1460	1038	7145	1420	1420	1232	788		
	b	プロポ、モーター重量	プロポ(g)	719	679	1166	625	1071	1425	387		
			モーター(g)	299	-	-	213	299	-	300		
			プロポ+モーター(g)	1161	-	-	838	1371	-	-		
	c	FPVモニターサイズ	縦(mm)	120	70	70	60	120	120	120		
			横(mm)	161	120	120	140	160	160	160		
			斜め(mm)	200	140	140	155	200	200	200		
	d	GNSS受信数		11~14	22~26	22~26	8~10	15~17	表示なし	16~18		
	(イ)	e	ホバリング試験	1点係留装置	標準偏差AVG (cm)	7	3	1	78	10	7	-
2点係留装置				標準偏差AVG (cm)	-	6	-	8	-	-	-	
f		急制動試験		移動距離AVG (cm)	144	234	174	436	551	134	126	
g		操作性比較	ホバリング検証	安定している	2	3	3	0	3	2	3	
				安定していない	1	0	0	3	0	1	0	
			急制動検証	すぐ停止する	2	0	2	0	0	2	2	
				すぐ停止しない	0	2	0	2	2	0	0	
		可視画像精度(1点係留)	安定している	2	2	2	0	1	1	1		
			安定していない	0	0	0	2	1	1	0		
		可視画像精度(2点係留)	安定している	1	2	2	1	1	0	-		
			安定していない	1	0	0	1	1	2	-		
プロポモニター		見易さ	見やすい	2	3	3	0	3	2	0		
			見にくい	1	0	0	3	0	1	3		
	操作しやすさ	わかりやすい	2	2	3	0	2	1	0			
		わかりにくい	1	1	0	3	1	2	3			
評価				○	◎	◎	△	○	○	△		
(ウ)	h	可視画像撮影 (精度)	係留無し (平均値)	視認クランクスケール幅(mm)	0.09	0.18	0.07	0.07	0.05	0.07	0.08	
				視認三原色	彩色確認可能	周囲のぼやけ	発色が悪い	彩色確認可能	彩色確認可能	線にシャープさが無い	彩色確認可能	
				視認ラジアル環範囲	1.00	0.70	0.60	1.04	2.00	0.50	0.46	
			1点係留 (平均値)	視認クランクスケール幅(mm)	0.06	0.14	0.09	0.06	0.05	0.08	-	
				視認三原色	彩色確認可能	周囲のぼやけ	発色が悪い	彩色確認可能	彩色確認可能	線にシャープさが無い	-	
				視認ラジアル環範囲	1.00	0.70	0.56	1.00	2.00	0.68	-	
		2点係留 (平均値)	視認クランクスケール幅(mm)	0.08	0.30	0.08	0.28	0.05	0.08	-		
			視認三原色	彩色確認可能	周囲のぼやけ	発色が悪い	彩色確認可能	彩色確認可能	線にシャープさが無い	-		
			視認ラジアル環範囲	0.75	0.55	0.50	1.00	2.00	0.60	-		
		i	係留方法の比較	操作性・安全性	係留無し	良い	1	2	2	0	2	2
						悪い	1	0	0	2	0	0
						良い	2	3	3	0	2	2
	1点係留			悪い	1	0	0	3	1	1		
				良い	1	3	3	2	1	0		
				悪い	2	0	0	1	2	3		
	2点係留	良い	1	3	3	2	1	0				
		悪い	2	0	0	1	2	3				
		可	0	2	2	0	1	2				
	1点係留	不可	2	0	0	2	1	0				
		可	1	3	3	0	1	2				
		不可	1	0	0	3	2	1				
	2点係留	可	2	3	3	3	0	0				
		不可	1	0	0	0	3	3				
可		1	0	0	0	3	1					
リードタイム	ドローン起動時間		1分45秒	1分35秒	3分20秒	2分20秒	2分02秒	1分58秒	2分23秒			
	係留無し	15分00秒										
		1点係留	21分06秒									
2点係留			16分44秒 / 盛替え時間(4m) : 6分34秒									
	コスト	係留無し	初期費用	210,000								
人工費用			198,800									
1点係留			初期費用	425,600								
			人工費用	240,400								
2点係留			初期費用	405,000								
			人工費用	282,000								
j	(環境影響) 昼間	1点係留 (平均値)	視認クランクスケール幅(mm)	0.05	0.2	0.05	0.05	0.05	0.08	-		
			視認三原色	彩色確認可能	周囲のぼやけ	発色が悪い	彩色確認可能	彩色確認可能	線にシャープさが無い	-		
			視認ラジアル環範囲	1.20	0.90	0.75	1.10	2.00	0.60	-		
		2点係留 (平均値)	視認クランクスケール幅(mm)	0.05	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05	-		
			視認三原色	彩色確認可能	周囲のぼやけ	発色が悪い	彩色確認可能	彩色確認可能	線にシャープさが無い	-		
			視認ラジアル環範囲	1.00	0.70	0.50	0.95	2.00	0.75	-		
	(環境影響) 夕刻	1点係留 (平均値)	視認クランクスケール幅(mm)	0.08	0.10	0.05	0.18	0.05	0.08	-		
			視認三原色	彩色確認可能	周囲のぼやけ	発色が悪い	彩色確認可能	彩色確認可能	線にシャープさが無い	-		
			視認ラジアル環範囲	0.95	0.60	0.60	1.00	2.00	0.65	-		
		2点係留 (平均値)	視認クランクスケール幅(mm)	0.05	0.18	0.05	0.05	0.05	0.50	-		
			視認三原色	彩色確認可能	周囲のぼやけ	発色が悪い	彩色確認可能	彩色確認可能	線にシャープさが無い	-		
			視認ラジアル環範囲	0.85	0.70	0.55	0.95	2.00	0.35	-		
評価				○	△	△	○	○	△	○		
総合評価				○	○	○	○	○	△	○		

動力性能・操作性評価

◎：9 項目の偏差の数値少及び安定性の上位 2 機種

○：9 項目の偏差の数値及び安定性が平均的で基準とした評価ポイントをクリアした 3 機種

△：本実証の評価ポイントで平均を下回った 2 機種

各操作者に対するアンケート結果において良い評価と悪い評価のコメント数をカウントし数値化
良い評価数と悪い評価数の差分 2 点以上の良い差分得点数を青字、
差分 2 点以上の悪い差分得点数を赤字とした。

撮影性能比較評価

○：可視画像精度比較において、本実証条件下での画像精度としてクリアした 4 機種

△：基準とした撮影精度を満足できなかった 3 機種

ただし、評価で記載のとおり飛行条件、撮影条件、カメラ設定など本実証の条件、
撮影対象に近い距離での撮影の事例として記載する。

総合評価

○：建築物調査において目視検査に置き換える目的で使用可能と考えた 6 機種

△：本実証条件の確認結果として、建築物調査で使用を控えるべきと考えた 1 機種

3.2.2 電波環境調査（実施項目②）

a) 建物周辺の電波影響調査

建物周辺の電波影響の調査にあたっては、地上部、屋上部、高所作業車を活用した空中での影響を調査した。高所作業車にて建築物近傍電波発信測定場所のイメージ図を図 64、計測状況を図 65 に示す。

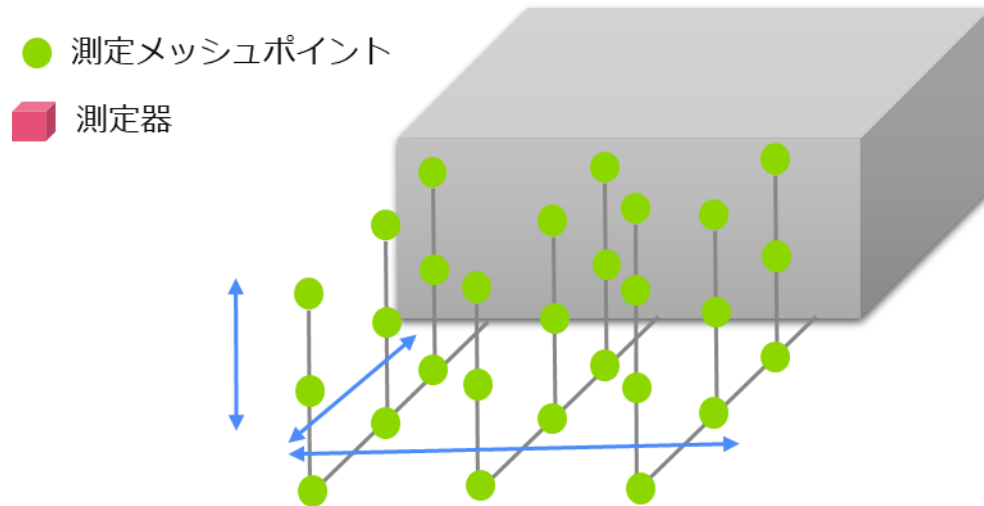


図 64 高所作業車による建築物近傍電波発信調査イメージ



図 65 建築物近傍電波発信調査作業状況（ドローン未搭載）

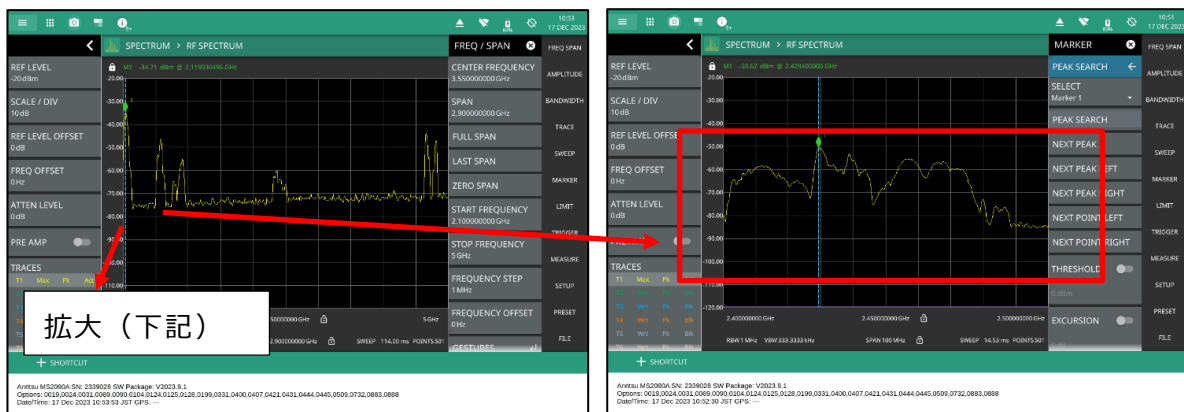
高所作業車にてマルチスペクトラムアナライザを活用して取得したデータについては、次ページにて記述した。データの取得にあたっては建物屋内の既設 Wi-Fi アクセスポイントに加え、Wi-Fi テザリング通信中の端末（スマートフォン及び PC）を実証のため各階の窓際に配置し、周辺環境の電波影響を確認できる環境を構築した。なお、高所作業車にはドローンを搭載せず、周辺環境の電波測定を実施した。

表 79 建築物近傍電波発信調査結果（ドローン未搭載）

外壁からの 離隔	水平 移動	高さ：3 m				高さ：6 m				高さ：9 m			
		2.1GHz 帯～5GHz 帯		2.4GHz 帯		2.1GHz 帯～5GHz 帯		2.4GHz 帯		2.1GHz 帯～5GHz 帯		2.4GHz 帯	
		Peak 値		Peak 値		Peak 値		Peak 値		Peak 値		Peak 値	
		周波数 [GHz]	受信電力 [dBm]	周波数 [GHz]	受信電力 [dBm]	周波数 [GHz]	受信電力 [dBm]	周波数 [GHz]	受信電力 [dBm]	周波数 [GHz]	受信電力 [dBm]	周波数 [GHz]	受信電力 [dBm]
3m	0m	2.132	-37.24	2.453	-41.71	2.140	-23.42	2.464	-54.46	2.140	-30.79	2.452	-55.25
	6 m	2.111	-35.69	2.436	-47.90	2.132	-26.7	2.429	-55.25	2.134	-29.76	2.435	-53.68
	12 m	2.117	-34.37	2.426	-42.13	2.140	-33.79	2.454	-58.22	2.117	-30.73	2.416	-55.62
6m	0m	2.132	-35.15	2.406	-48.29	2.111	-26.75	2.429	-53.17	2.129	-31.37	2.429	-54.83
	6 m	2.123	-35.86	2.453	-41.82	2.123	-26.48	2.413	-52.17	2.129	-30.61	2.464	-55.28
	12 m	2.140	-33.29	2.406	-41.65	2.123	-33.10	2.417	-54.79	2.134	-29.23	2.405	-56.17
9m	0m	2.134	-37.27	2.465	-42.84	2.117	-30.71	2.466	-49.04	2.134	-32.51	2.406	-55.75
	6 m	2.134	-39.27	2.465	-37.25	2.117	-28.19	2.405	-46.75	2.134	-31.44	2.441	-53.20
	12 m	2.134	-34.72	2.441	-44.40	2.129	-29.07	2.438	-57.56	2.134	-29.97	2.438	-56.57

ドローン飛行に影響を与える可能性があると思われる 2.4GHz 帯及び近接する周波数帯(2.1GHz~5GHz)に関して、外壁からの離隔距離(3 m, 6 m, 9 m)及び高所作業車の高さ(3 m, 6 m, 9 m)にてそれぞれ受信電波強度を測定した。測定の結果、2.1GHz 帯では、最大-23.42dBm、最小-39.27 dBm、平均-37.75dBm、2.4GHz 帯では、最大-37.25dBm、最小-58.22dBm、平均-50.58dBm となった。2.1GHz 帯については、測定エリアに近接する通信事業者の LTE(FDD)による電波と考えられ、また壁面からの離隔距離、高さによりあまり大きな変化はなかったことから、通信事業者の基地局から放出される電波伝搬エリア(セル)が広いことを想定した上で、ドローン飛行にどのように影響するかの観点を持つことが重要と考えられる。2.4GHz 帯についても、壁面からの離隔距離による大きな変化は見られなかった。測定ポイントの高さによる違いは、窓際に設置した Wi-Fi 端末からの距離に比例していると思われ、伝搬距離により電波強度が減衰したものと考える。

測定には、マルチスペクトラムアナライザを用いてそれぞれの電波強度を記録した。測定時の画面イメージを以下に示す。



2.1GHz~5GHz 帯周波数スペクトラム

2.4GHz 帯周波数スペクトラム



2.1GHz 帯 (拡大部分)

図 66 建築物近傍電波発信調査測定画面

計測作業にて実施した作業記録について、以下に示す。

表 80 建築物近傍電波発信状況調査実施記録（ドローン未搭載）

外壁からの 離隔	水平 移動	高さ：3 m		高さ：6 m		高さ：9 m	
		2.1GHz 帯～ 5GHz 帯	2.4GHz 帯	2.1GHz 帯～ 5GHz 帯	2.4GHz 帯	2.1GHz 帯～ 5GHz 帯	2.4GHz 帯
		計測時間		計測時間		計測時間	
3m	0m	11:44～11:54		11:56～12:05		12:14～12:20	
3m	6 m	12:56～12:59		13:00～13:03		13:04～13:07	
3m	12m	15:31～15:34		15:35～15:38		15:39～15:41	
6m	0m	12:22～12:27		12:28～12:32		12:34～12:37	
6m	6 m	13:09～13:12		13:13～13:16		13:17～13:20	
6m	12m	15:42～15:49		15:44～15:46		15:47～15:49	
9m	0m	12:40～12:43		12:44～12:48		12:50～12:54	
9m	6 m	13:22～13:25		13:26～13:31		13:32～13:40	
9m	12m	15:50～15:52		15:52～15:54		15:55～15:57	

また、高所作業車にドローンを搭載し、電波干渉などの影響について、建築物近傍電波の計測状況を図 67 に示す。高所作業車に搭載したドローンの電波干渉状況について、送信機にて監視を実施した状況を図 68 に示す。



図 67 建築物近傍電波干渉調査作業状況（ドローン搭載）

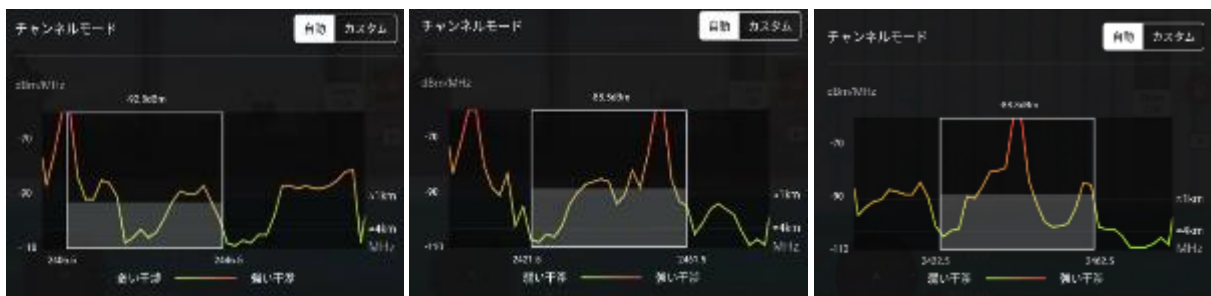


図 68 建築物近傍電波干渉状況（ドローン送信機の電波干渉状況）

上記、高所作業車に搭載したドローンの電波干渉状況を送信機（アプリケーション）で状況確認をしたが、建物との離隔距離が 3m～9m、水平移動が 0～12m、高度が 3m～12m、にて高所作業車で距離を変え計測作業をしたが、建物の離隔距離や機器との距離や高度が変わった場合でも、電波干渉を受けているものの、通信環境は極めて良好な状況であった。計測作業にて実施した作業記録について、表 81 に示す。ドローン搭載の高所作業車にて取得したデータについては、表 82 にて記述した。

表 81 建築物近傍電波干渉状況調査実施記録（ドローン搭載）

外壁からの 離隔	水 平 移 動	高さ：3 m		高さ：6 m		高さ：9 m	
		2.1GHz 帯 ～5GHz 帯	2.4GHz 帯	2.1GHz 帯 ～5GHz 帯	2.4GHz 帯	2.1GHz 帯 ～5GHz 帯	2.4GHz 帯
		計測時間		計測時間		計測時間	
3m	0m	14:08～14:12		14:13～14:15		14:16～14:20	
3m	6 m	14:44～14:46		14:47～14:49		14:50～14:52	
3m	12 m	16:04～16:06		16:07～16:08		16:09～16:11	
6m	0m	14:22～14:25		14:26～14:29		14:30～14:32	
6m	6 m	14:53～15:02		15:03～15:05		15:05～15:07	
6m	12 m	16:11～16:14		16:14～16:16		16:17～16:18	
9m	0m	14:34～14:35		14:37～14:39		14:39～14:42	
9m	6 m	15:08～15:10		15:10～15:12		15:13～15:16	
9m	12 m	16:20～16:22		16:22～16:24		16:25～16:27	

表 82 建築物近傍電波干渉状況調査実施記録（ドローン搭載）

外壁からの 離隔	水平 移動	高さ：3 m				高さ：6 m				高さ：9 m			
		2.1GHz 帯～5GHz 帯		2.4GHz 帯		2.1GHz 帯～5GHz 帯		2.4GHz 帯		2.1GHz 帯～5GHz 帯		2.4GHz 帯	
		Peak 値		Peak 値		Peak 値		Peak 値		Peak 値		Peak 値	
		周波数 [GHz]	受信電力 [dBm]	周波数 [GHz]	受信電力 [dBm]	周波数 [GHz]	受信電力 [dBm]	周波数 [GHz]	受信電力 [dBm]	周波数 [GHz]	受信電力 [dBm]	周波数 [GHz]	受信電力 [dBm]
3m	0m			2.456	-18.61			2.463	-18.04			2.443	-27.36
	6m			2.420	-30.08			2.444	-22.81			2.455	-23.14
	12m			2.455	-17.81			2.438	-24.51			2.455	-23.53
6m	0m			2.443	-26.35			2.461	-18.29			2.456	-28.17
	6m			2.420	-22.81			2.415	-19.58			2.442	-17.54
	12m			2.455	-19.19			2.447	-24.77			2.448	-26.04
9m	0m			2.441	-18.08			2.462	-31.85			2.441	-25.05
	6m			2.456	-21.03			2.415	-17.86			2.438	-24.86
	12m			2.439	-26.71			2.475	-22.01			2.455	-21.93

※注 2.1GHz～5GHz 帯はドローン未搭載時に測定しており、未計測とした

2.4GHz 帯の測定結果は、最大-17.54dBm、最小-31.85dBm、平均-22.88dBmとなった。

ドローンを測定器の近傍（数十 cm）に配置したため、測定結果は Wi-Fi(2.4GHz)の電波よりドローンから送信される電波が支配的と思われる。

ドローンの搭載時と未搭載時の 2.4GHz 帯周波数スペクトラムの測定結果を以下に示す。



図 69 建築物近傍電波発信調査測定画面

また、調査員が直接マルチスペクトラムアナライザを建屋の屋上に持参して、屋上の電波環境を測定した結果について、以下に示す。

表 83 建築物近傍電波干渉状況調査実施記録（屋上・ドローン無）

水平移動	高さ：約 13m			
	2.1GHz 帯～5GHz 帯		2.4GHz 帯	
	Peak 値		Peak 値	
	周波数 [GHz]	受信電力 [dBm]	周波数 [GHz]	受信電力 [dBm]
0m	2.140	-46.86	2.429	-62.20
6 m	2.140	-42.27	2.430	-63.14
12m	2.140	-38.14	2.440	-61.69

2.1GHz 帯では、最大-38.14dBm、最小-46.86 dBm、平均-42.42dBm、
 2.4GHz 帯では、最大-61.69dBm、最小-63.14dBm、平均-62.34dBm となった。
 2.4GHz 帯については、建物以外からの Wi-Fi(2.4GHz 帯)の電波も含まれていると思われる。マルチスペクトラムアナライザによる各周波数スペクトラム測定時の画面イメージを以下に示す。



図 70 建築物近傍電波発信調査測定画面

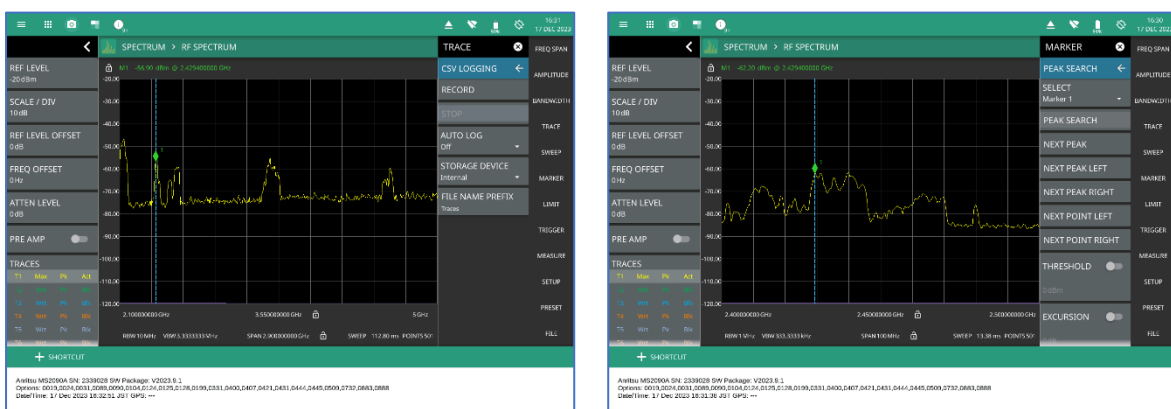
次に、屋上と同様に高所作業車で測定した直下の、地上における電波環境の測定の結果について、以下に示す。

表 84 建築物近傍電波干渉状況調査実施記録（地上・ドローン無）

外壁からの 離隔	水平 移動	高さ：約 1m			
		2.1GHz 帯～5GHz 帯		2.4GHz 帯	
		Peak 値		Peak 値	
		周波数 [GHz]	受信電力 [dBm]	周波数 [GHz]	受信電力 [dBm]
3m	0m	2.123	-36.78	2.438	-48.52
	6m	2.117	-35.19	2.435	-52.88
	12m	2.134	-41.61	2.439	-60.49
6m	0m	2.119	-34.71	2.429	-50.62
	6m	2.123	-35.83	2.440	-53.80
	12m	2.123	-39.16	2.430	-57.37
9m	0m	2.137	-41.77	2.249	-62.20
	6m	2.123	-37.36	2.435	-55.68
	12m	4.802	-42.61	2.439	-59.96

2.1GHz 帯では、最大-34.71dBm、最小-42.61dBm、平均-38.33dBm、2.4GHz 帯では、最大-48.52dBm、最小-62.20dBm、平均-55.72dBm となった。2.1GHz 帯については、高度での測定結果と比較し、電波強度の減衰が見られる。2.4GHz 帯については、窓際に設置した Wi-Fi 端末からの距離に比例していると思われる、伝搬距離により電波強度が減衰したものとする。しかしながら、b) で検証したように機種によっては屋上付近を飛行する場合、通信事業者の LTE(FDD)による電波の干渉によりドローン機体と送信機間の通信が途絶する可能性がある強い電波を計測したため、機種ごとにフライト前の電波状況確認のための干渉影響確認が必要となる。

マルチスペクトラムアナライザによる各周波数スペクトラム測定時の画面イメージを以下に示す。



2.1GHz～5GHz 帯周波数スペクトラム

2.4GHz 帯周波数スペクトラム

図 71 建築物近傍電波発信調査測定画面

b) 建築物外壁調査時に複数機同時に稼働させた際の電波伝搬特性の把握

1) 複数の機器同時使用時の電波干渉計測状況について、離隔を3m、配置を円周で配置した際の、実証イメージを図 72、実施状況については図 73 に示す。干渉調査で取得したデータについては、表 85 に示す。

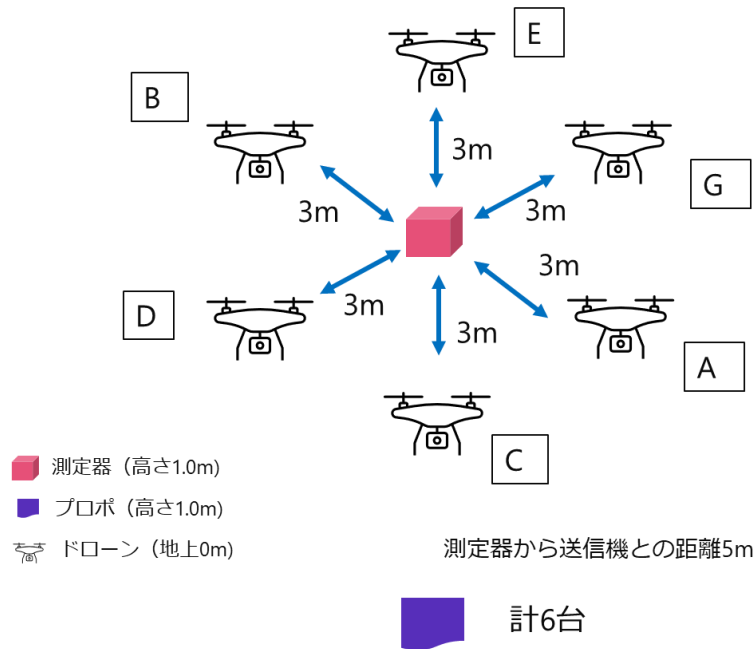


図 72 複数ドローン相互影響検証 構成 (ドローン円周配置 相互離隔 3m)



図 73 ドローン円周配置 相互離隔 3m

表 85 複数機体の干渉影響調査一覧（ドローンのみ円周配置・離隔 3m）

測定条件	ドローン稼働数	機体配置	ドローン機体	ドローン及びプロポ状態	測定器との離隔距離	ドローン及びプロポ離隔	高度	Wi-Fi (2.4GHz) 通信中端末	ドローン操作状況
PT1	1	円周	A	電源 ON	3m	5m	0m	0	離陸準備可
			B	電源 OFF	3m	5m	0m	0	
			C	電源 OFF	3m	5m	0m	0	
			D	電源 OFF	3m	5m	0m	0	
			E	電源 OFF	3m	5m	0m	0	
			G	電源 OFF	3m	5m	0m	0	
PT2	2	円周	A	電源 ON	3m	5m	0m	0	離陸準備可
			B	電源 ON	3m	5m	0m	0	離陸準備可
			C	電源 OFF	3m	5m	0m	0	
			D	電源 OFF	3m	5m	0m	0	
			E	電源 OFF	3m	5m	0m	0	
			G	電源 OFF	3m	5m	0m	0	
PT3	3	円周	A	電源 ON	3m	5m	0m	0	離陸準備可
			B	電源 ON	3m	5m	0m	0	離陸準備可
			C	電源 ON	3m	5m	0m	0	離陸準備可
			D	電源 OFF	3m	5m	0m	0	
			E	電源 OFF	3m	5m	0m	0	
			G	電源 OFF	3m	5m	0m	0	
PT4	4	円周	A	電源 ON	3m	5m	0m	0	離陸準備可
			B	電源 ON	3m	5m	0m	0	離陸準備可
			C	電源 ON	3m	5m	0m	0	離陸準備可
			D	電源 ON	3m	5m	0m	0	離陸準備可
			E	電源 OFF	3m	5m	0m	0	
			G	電源 OFF	3m	5m	0m	0	
PT5	5	円周	A	電源 ON	3m	5m	0m	0	離陸準備可
			B	電源 ON	3m	5m	0m	0	離陸準備可
			C	電源 ON	3m	5m	0m	0	離陸準備可
			D	電源 ON	3m	5m	0m	0	離陸準備可
			E	電源 ON	3m	5m	0m	0	機体接続不可
			G	電源 OFF	3m	5m	0m	0	
PT6	6	円周	A	電源 ON	3m	5m	0m	0	離陸準備可
			B	電源 ON	3m	5m	0m	0	離陸準備可
			C	電源 ON	3m	5m	0m	0	離陸準備可
			D	電源 ON	3m	5m	0m	0	離陸準備可
			E	電源 ON	3m	5m	0m	0	機体接続不可
			G	電源 ON	3m	5m	0m	0	機体接続不安定

マルチスペクトラムアナライザで測定した試験前の 2.4GHz 帯周波数スペクトラムを以下に示す。なお、縦軸が電波の強さを表しており、赤色に近づくほど電波が強い。

測定器の表示において、横軸の周波数の表示下限は 2.40000GHz、表示上限は 2.50000GHz、縦軸の表示下限は-150 dB、表示上限は-50 dB で設定した。

上の赤線の電波強度は、-70 dB で Wi-Fi の電波で中程度の強さであり、下の赤線の電波強度は、-100 dB でドローンに影響がない周辺の電波強度である。

表示画面の半分より下は、時系列の表示で、測定が安定する 7 秒まで計測し記録した。

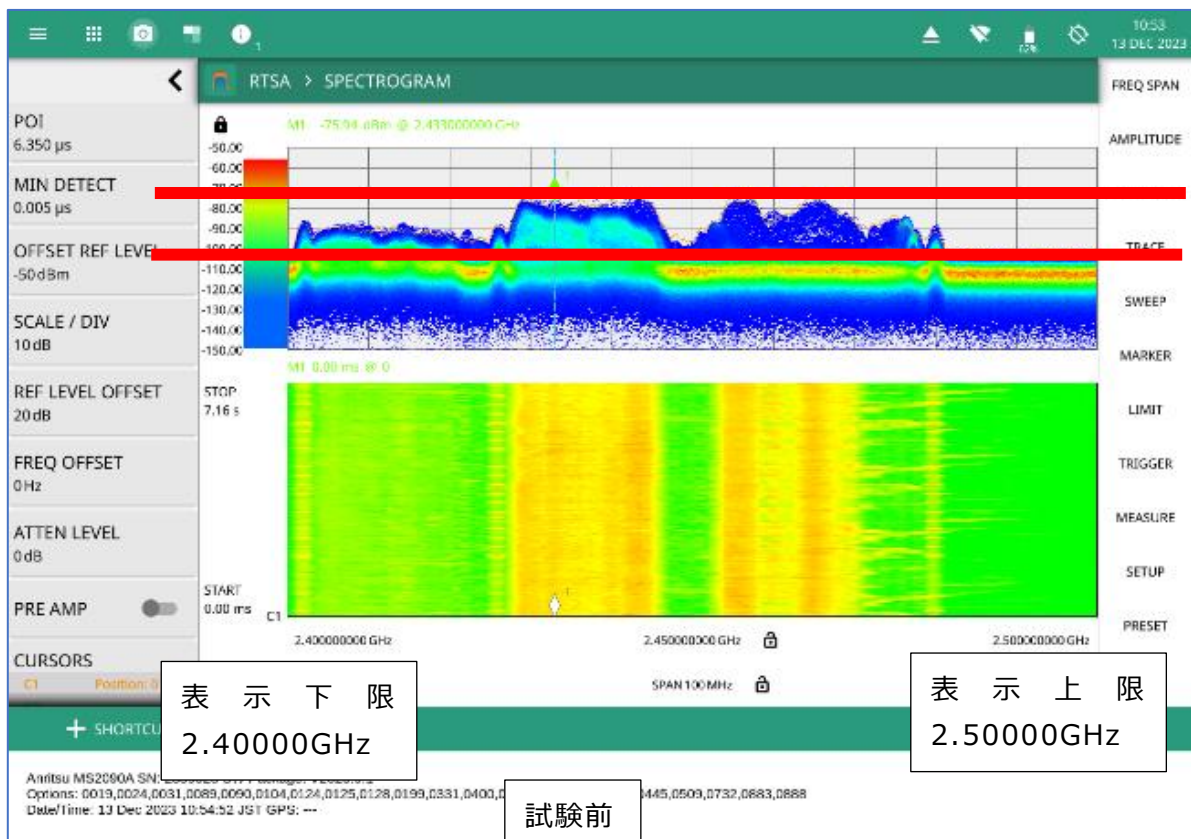


図 74 複数機体の干渉影響調査測定画面（試験前）

ドローンを1台ずつ稼働させていく過程の2.4GHz帯周波数スペクトラムを以下に示す。

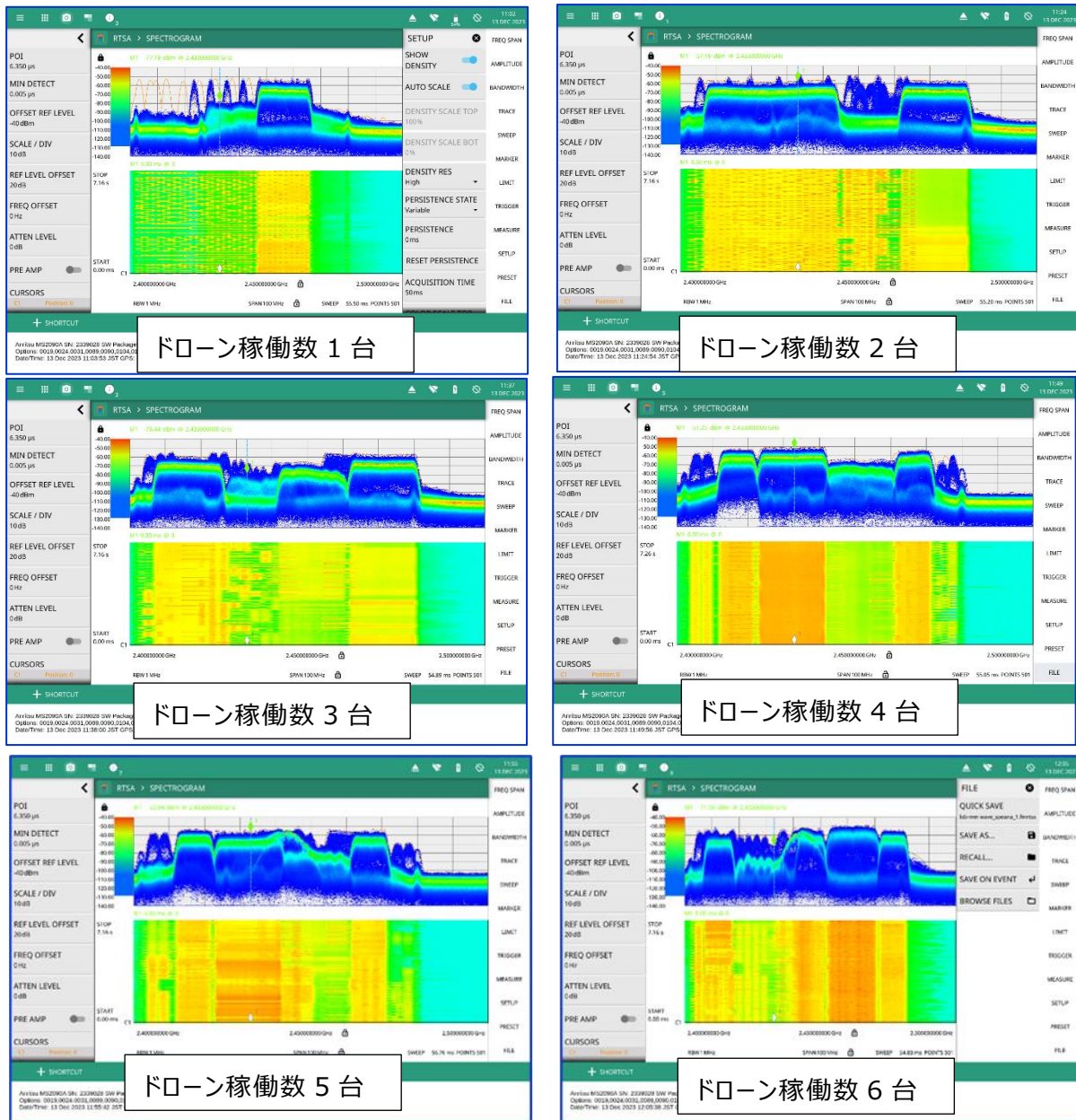


図 75 複数機体の干渉影響調査測定画面（稼働数増加）

ドローン稼働数の増加と共に、2.4GHz帯が占有される割合が多くなっている。5台目及び6台目では機体とプロポが接続できない状態となる。ドローン相互の電波干渉の影響と思われる。

2) 複数の機器同時使用にての電波干渉計測状況について、離隔を3m、配置を円周で配置、Wi-Fi 接続端末を2台設置した際の、実証イメージを以下に示す。干渉調査で取得したデータについては、表 86 に示す。

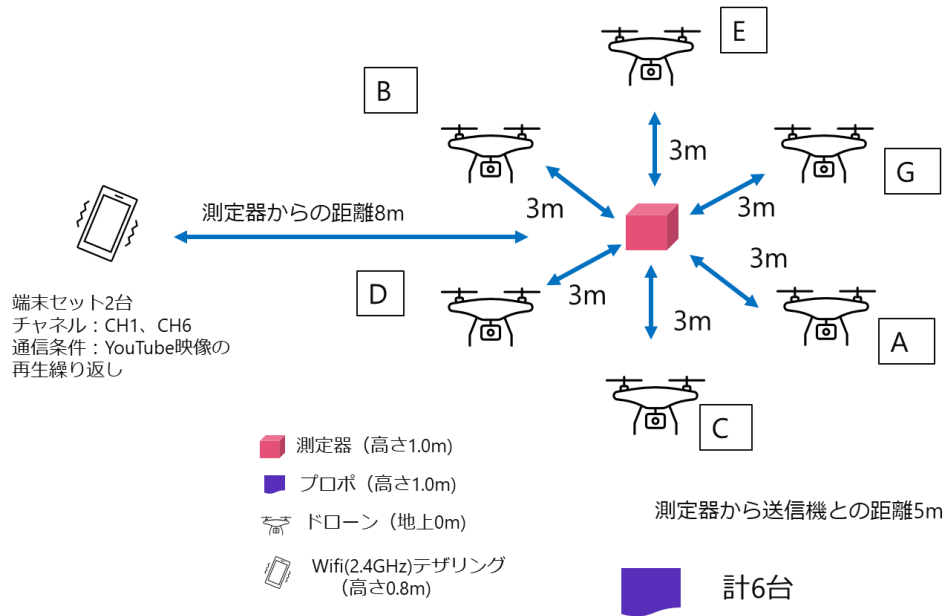


図 76 複数ドローン相互影響検証 構成 (ドローン円周配置 相互離隔 3m)
Wi-Fi(2.4GHz) テザリングあり 端末セット 2 台

表 86 複数ドローン相互影響検証 構成 (ドローン円周配置 相互離隔 3m) Wi-Fi(2.4GHz) テザリングあり 端末セット 2 台

測定条件	ドローン稼働数	機体配置	ドローン機体	ドローン及びプロポ状態	測定器との離隔距離	ドローン及びプロポ離隔	高度	Wi-Fi (2.4GHz) 通信中端末	ドローン操作状況	備考
PT 1	1	円周	A	電源 ON	3m	5m	0m	2	離陸準備可	
			B	電源 OFF	3m	5m	0m	2		
			C	電源 OFF	3m	5m	0m	2		
			D	電源 OFF	3m	5m	0m	2		
			E	電源 OFF	3m	5m	0m	2		
			G	電源 OFF	3m	5m	0m	2		
PT 2	2	円周	A	電源 ON	3m	5m	0m	2	離陸準備可	
			B	電源 ON	3m	5m	0m	2	離陸準備可	
			C	電源 OFF	3m	5m	0m	2		
			D	電源 OFF	3m	5m	0m	2		
			E	電源 OFF	3m	5m	0m	2		
			G	電源 OFF	3m	5m	0m	2		
PT 3	3	円周	A	電源 ON	3m	5m	0m	2	離陸準備可	
			B	電源 ON	3m	5m	0m	2	離陸準備可	
			C	電源 ON	3m	5m	0m	2	離陸準備可	
			D	電源 OFF	3m	5m	0m	2		
			E	電源 OFF	3m	5m	0m	2		
			G	電源 OFF	3m	5m	0m	2		
PT 4	4	円周	A	電源 ON	3m	5m	0m	2	離陸準備可	
			B	電源 ON	3m	5m	0m	2	離陸準備可	
			C	電源 ON	3m	5m	0m	2	離陸準備可	
			D	電源 ON	3m	5m	0m	2	離陸準備可	このタイミングで Wi-Fi 通信断となる(全 2 セット)
			E	電源 OFF	3m	5m	0m	2		
			G	電源 OFF	3m	5m	0m	2		
PT 5	5	円周	A	電源 ON	3m	5m	0m	2	離陸準備可	
			B	電源 ON	3m	5m	0m	2	離陸準備可	
			C	電源 ON	3m	5m	0m	2	離陸準備可	
			D	電源 ON	3m	5m	0m	2	離陸準備可	
			E	電源 ON	3m	5m	0m	2	-	Wi-Fi 通信断 (全 2 セット) のため計測せず
			G	電源 OFF	3m	5m	0m	2		
PT 6	6	円周	A	電源 ON	3m	5m	0m	2	離陸準備可	
			B	電源 ON	3m	5m	0m	2	離陸準備可	
			C	電源 ON	3m	5m	0m	2	離陸準備可	
			D	電源 ON	3m	5m	0m	2	離陸準備可	
			E	電源 ON	3m	5m	0m	2	-	Wi-Fi 通信断 (全 2 セット) のため計測せず
			G	電源 ON	3m	5m	0m	2	-	Wi-Fi 通信断 (全 2 セット) のため計測せず

Wi-Fi テザリング通信中（2 セット）のみの 2.4GHz 帯周波数スペクトラムを以下に示す。
なお、縦軸が電波の強さを表しており、赤色に近づくほど電波が強い。

測定器の表示において、横軸の周波数の表示下限は 2.40000GHz、表示上限は 2.50000GHz、縦軸の表示下限は-140 dB、表示上限は-40 dB で設定した。

テザリング端末からの電波強度は、-70 dB ほどで Wi-Fi の電波で中程度の強さであり、
電波が無いチャンネルは、-100 dB でドローンに影響がない周辺の電波強度である。

表示画面の半分より下は、時系列の表示で、測定が安定する 7 秒まで計測し記録した。

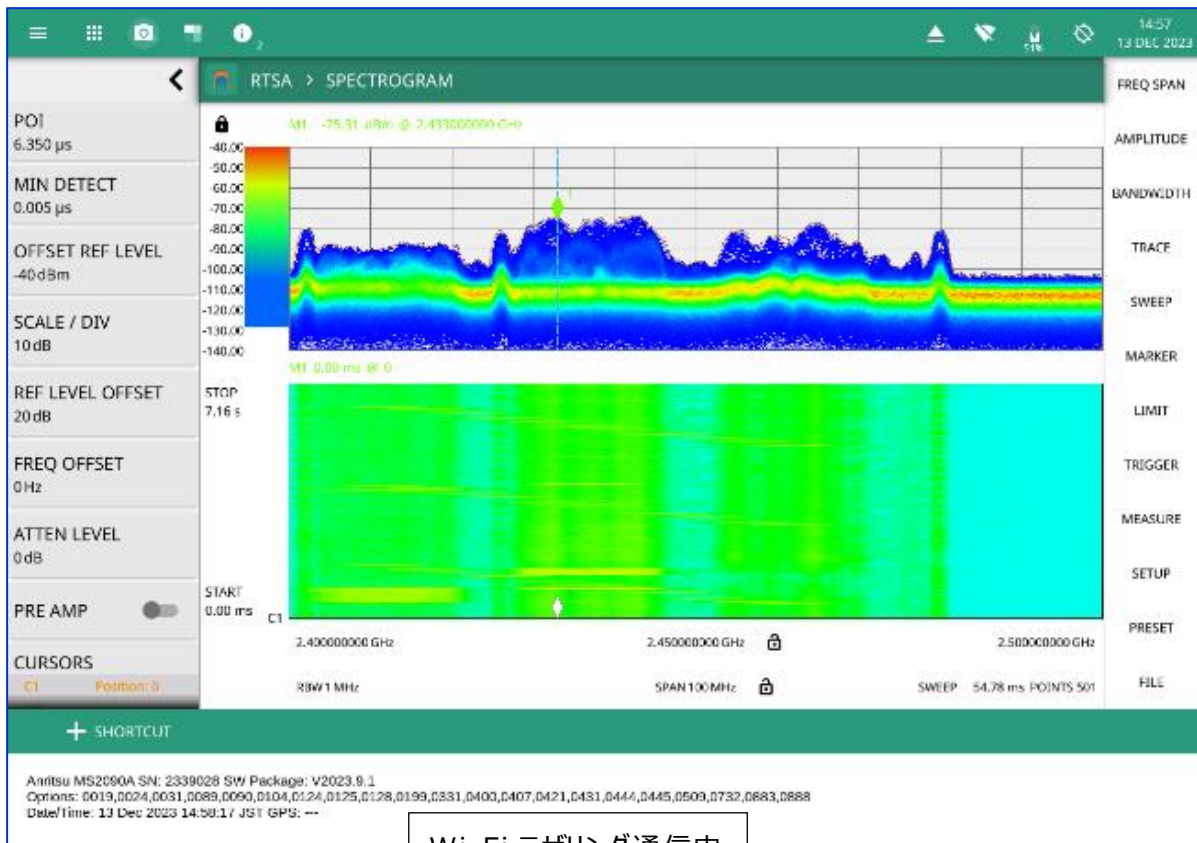


図 77 複数機体の干渉影響調査測定画面（Wi-Fi テザリング）

ドローンを 1 台ずつ稼働させていく過程の 2.4GHz 帯周波数スペクトラムを図 78 に示す。

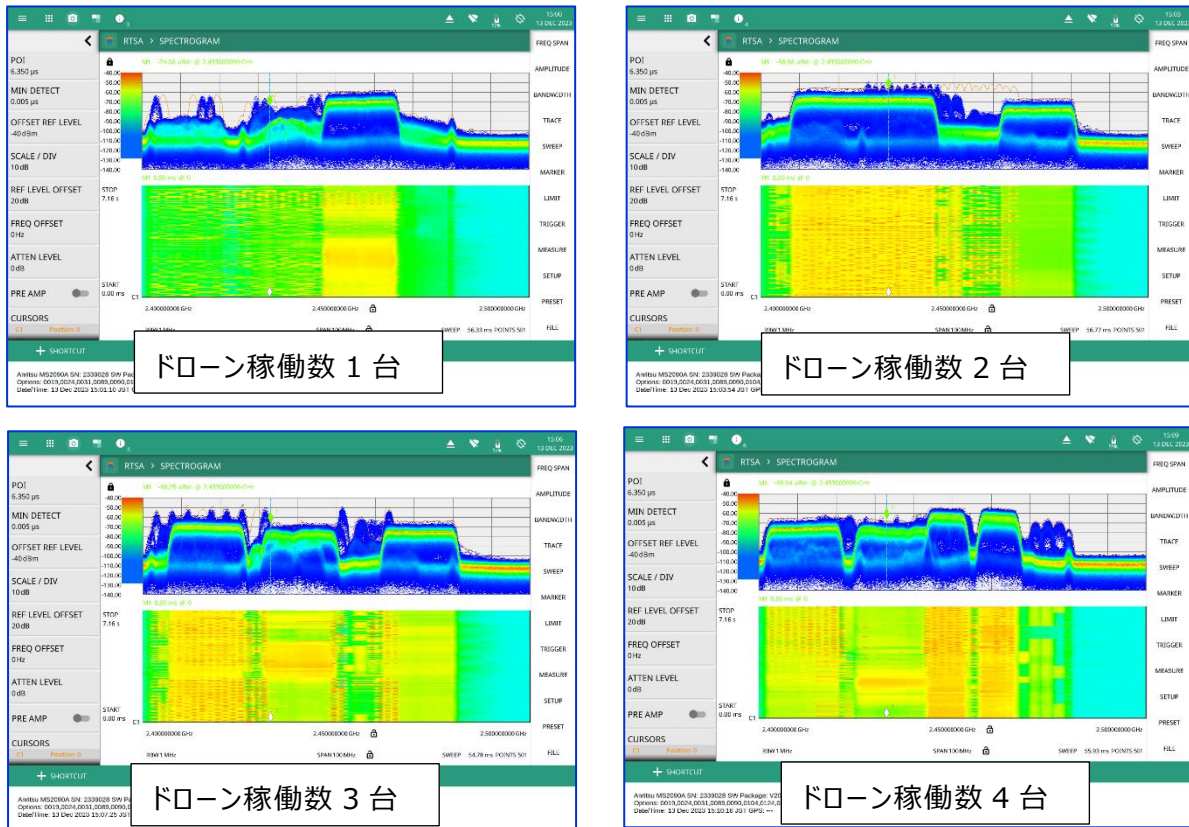


図 78 複数機体の干渉影響調査測定画面（稼働数増加）

ドローン稼働数の増加と共に、2.4GHz 帯が占有される割合が多くなっている。

ドローン稼働 4 台目から、Wi-Fi 通信が全て切断された。Wi-Fi が使用するチャンネルとドローンの電波が干渉し、Wi-Fi 端末がキャリアセンスにより、電波の送信を抑制したためと思われる。

3) 複数の機器同時使用に於ける電波干渉計測状況について、離隔を 3m、配置を円周で配置、Wi-Fi 接続端末が 6 台設置した際の、実証イメージを図 79 に示す。干渉調査で取得したデータについては、表 87 に示す。

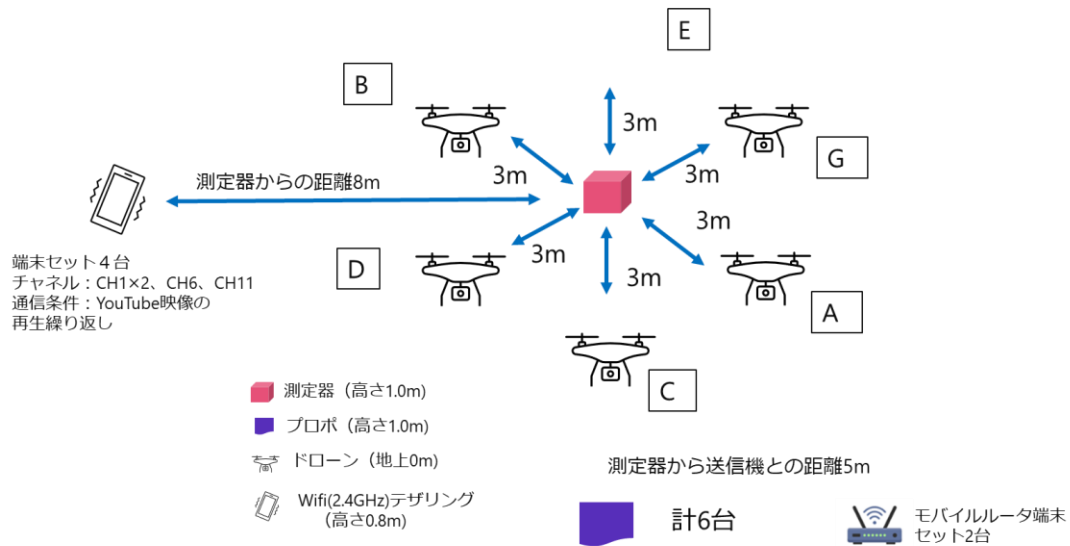


図 79 複数ドローン相互影響検証 構成 (ドローン円周配置 相互離隔 3m)
Wi-Fi(2.4GHz) テザリングあり モバイルルータ含む端末セット 6 台

表 87 複数ドローン相互影響検証 構成 (ドローン円周配置 相互離隔 3m) Wi-Fi(2.4GHz) テザリングあり
モバイルルータ含む端末セット 6 台

測定条件	ドローン稼働数	機体配置	ドローン機体	ドローン及びプロポ状態	測定器との離隔距離	ドローン及びプロポ離隔	高度	Wi-Fi (2.4GHz) 通信中端末	ドローン操作状況	備考
PT1	1	円周	A	電源 ON	3m	5m	0m	6	離陸準備可	
			B	電源 OFF	3m	5m	0m	6		
			C	電源 OFF	3m	5m	0m	6		
			D	電源 OFF	3m	5m	0m	6		
			E	電源 OFF	3m	5m	0m	6		
			G	電源 OFF	3m	5m	0m	6		
PT2	2	円周	A	電源 ON	3m	5m	0m	6	離陸準備可	
			B	電源 ON	3m	5m	0m	6	離陸準備可	
			C	電源 OFF	3m	5m	0m	6		
			D	電源 OFF	3m	5m	0m	6		
			E	電源 OFF	3m	5m	0m	6		
			G	電源 OFF	3m	5m	0m	6		
PT3	3	円周	A	電源 ON	3m	5m	0m	6	離陸準備可	
			B	電源 ON	3m	5m	0m	6	離陸準備可	
			C	電源 ON	3m	5m	0m	6	離陸準備可	
			D	電源 OFF	3m	5m	0m	6		
			E	電源 OFF	3m	5m	0m	6		
			G	電源 OFF	3m	5m	0m	6		
PT4	4	円周	A	電源 ON	3m	5m	0m	6	離陸準備可	
			B	電源 ON	3m	5m	0m	6	離陸準備可	
			C	電源 ON	3m	5m	0m	6	離陸準備可	
			D	電源 ON	3m	5m	0m	6	離陸準備可	
			E	電源 OFF	3m	5m	0m	6		
			G	電源 OFF	3m	5m	0m	6		
PT5	5	円周	A	電源 ON	3m	5m	0m	6	離陸準備可	
			B	電源 ON	3m	5m	0m	6	離陸準備可	
			C	電源 ON	3m	5m	0m	6	離陸準備可	
			D	電源 ON	3m	5m	0m	6	離陸準備可	
			E	電源 ON	3m	5m	0m	6	機体接続不安定	
			G	電源 OFF	3m	5m	0m	6		
PT6	6	円周	A	電源 ON	3m	5m	0m	6	離陸準備可	
			B	電源 ON	3m	5m	0m	6	離陸準備可	
			C	電源 ON	3m	5m	0m	6	離陸準備可	
			D	電源 ON	3m	5m	0m	6	離陸準備可	
			E	電源 ON	3m	5m	0m	6→3	機体接続不安定	このタイミングで Wi-Fi 通信断となる(3 セットのみ)
			G	電源 ON	3m	5m	0m	6→3	機体接続不安定	このタイミングで Wi-Fi 通信断となる(3 セットのみ)

Wi-Fi テザリング通信中（6 セット）のみの 2.4GHz 帯周波数スペクトラムを以下に示す。
なお、縦軸が電波の強さを表しており、赤色に近づくほど電波が強い。

測定器の表示において、横軸の周波数の表示下限は 2.40000GHz、表示上限は 2.50000GHz、縦軸の表示下限は-140 dB、表示上限は-40 dB で設定した。

テザリング端末からの電波強度は、-70 dB ほどで Wi-Fi の電波で中程度の強さであり、電波が無いチャンネルは、-100 dB でドローンに影響がない周辺の電波強度である。

表示画面の半分より下は、時系列の表示で、測定が安定する 7 秒まで計測し記録した。
Wi-Fi テザリング通信中の端末が多く、ドローン起動前から占有率が高いことが判る。

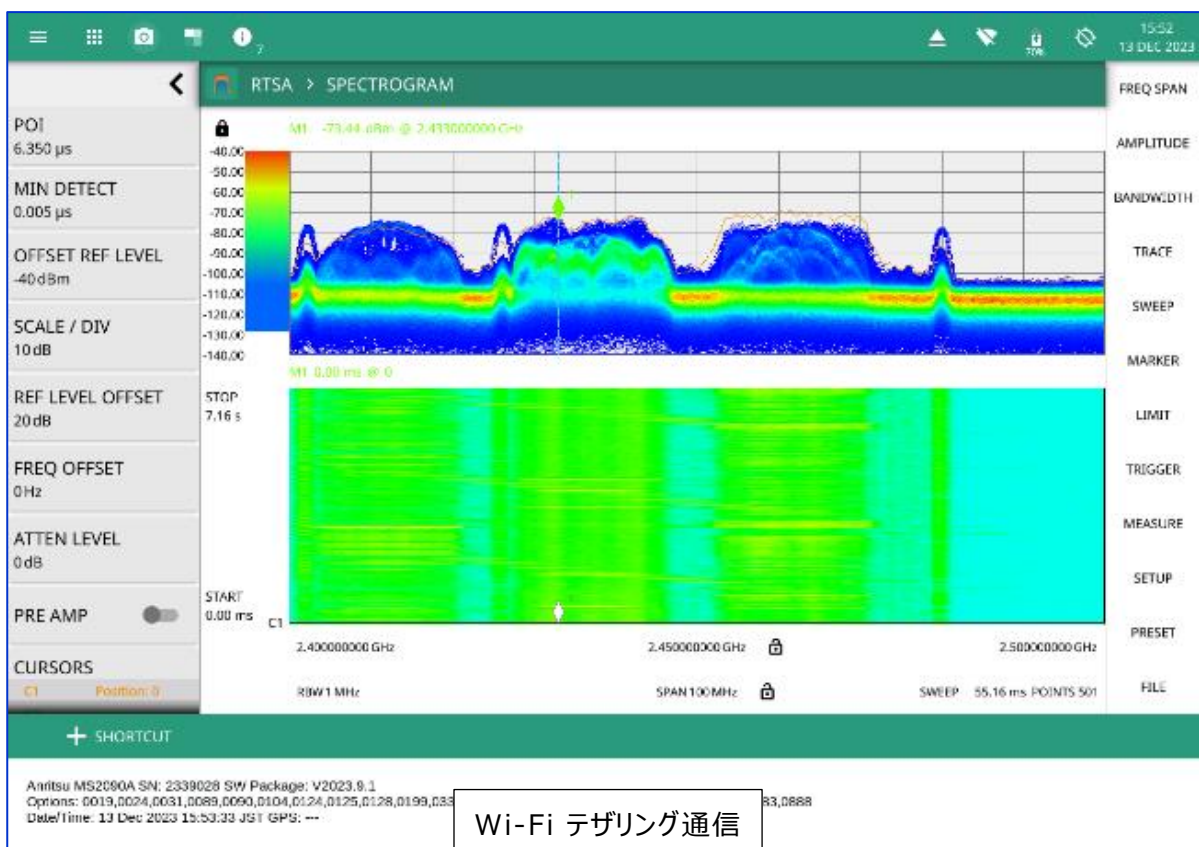
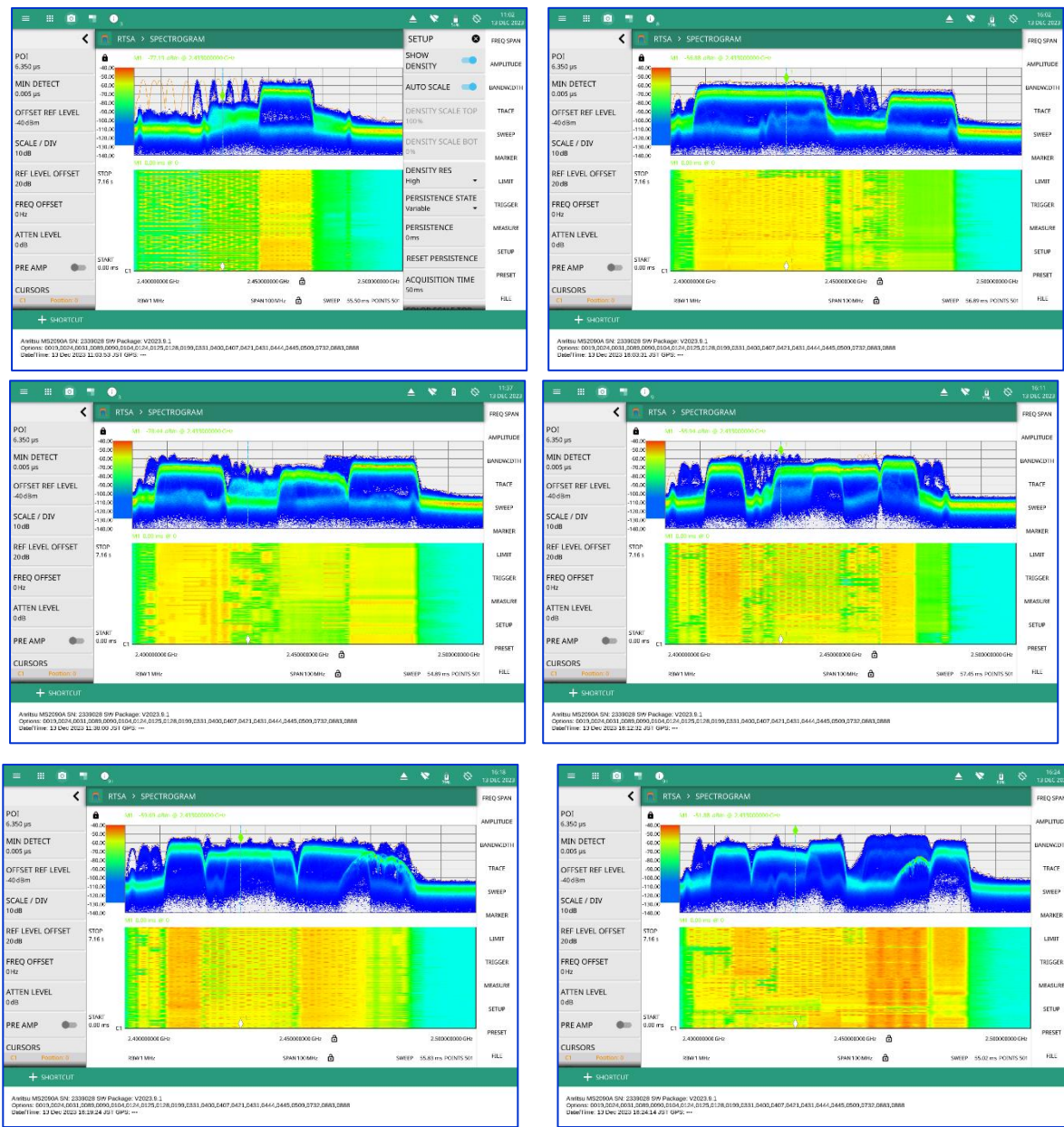


図 80 複数機体の干渉影響調査測定画面（Wi-Fi テザリング）

ドローンを1台ずつ稼働させていく過程の2.4GHz帯周波数スペクトラムを以下に示す。

図 81 複数機体の干渉影響調査測定画面（稼働数増加）



ドローン稼働数の増加と共に、2.4GHz帯が占有される割合が多くなっている。

5台目及び6台目では機体とプロポの接続が不安定な状態となる。ドローン相互の電波干渉の影響と思われる。また6台目ではWi-Fi通信が6セット内3セット切断された。Wi-Fiが使用するチャンネルとドローンの電波が干渉し、Wi-Fi端末がキャリアセンスにより、電波の送信を抑制したためと思われる。

4) 複数の機器同時使用にての電波干渉計測状況について、離隔を3m、配置を円周で配置、Wi-Fi 接続端末を8台設置した際の、実証イメージを以下に示す。干渉調査で取得したデータについては、表88に示す。

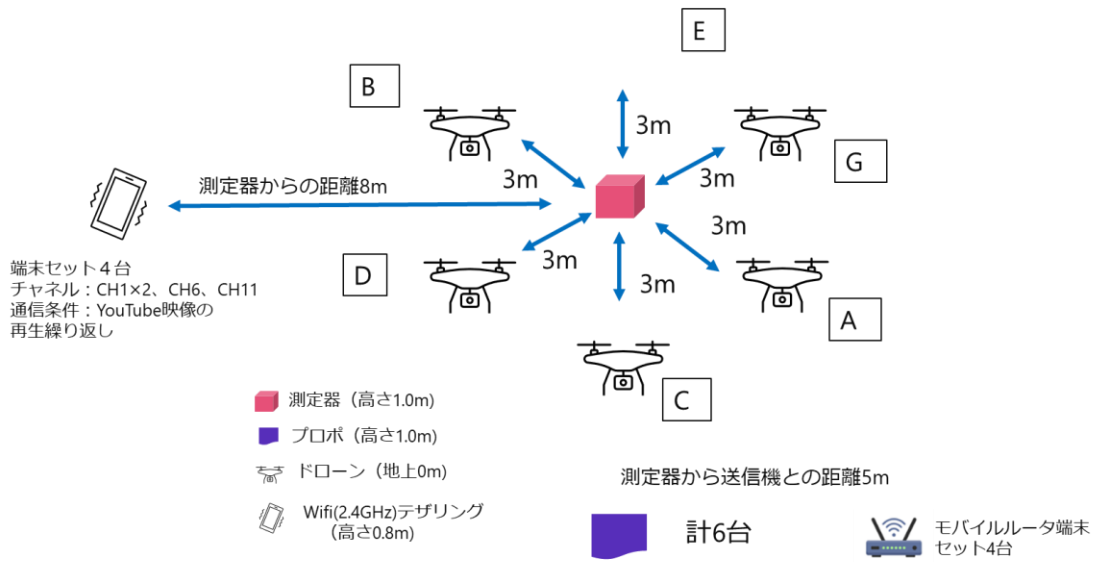


図 82 複数ドローン相互影響検証 構成 (ドローン円周配置 相互離隔 3m)
Wi-Fi(2.4GHz) デザリングあり モバイルルータ含む端末セット 8 台

表 88 複数ドローン相互影響検証 構成 (ドローン円周配置 相互離隔 3m) Wi-Fi(2.4GHz) テザリングあり モバイルルータ含む端末セット 8 台

測定条件	ドローン稼働数	機体配置	ドローン機体	ドローン及びプロポ状態	測定器との離隔距離	ドローン及びプロポ離隔	高度	Wi-Fi (2.4GHz) 通信中端末	ドローン操作状況	備考
PT 1	1	円周	A	電源 OFF	3m	5m	0m	8		
			B	電源 OFF	3m	5m	0m	8		
			C	電源 OFF	3m	5m	0m	8		
			D	電源 OFF	3m	5m	0m	8		
			E	電源 ON	3m	5m	0m	8	離陸準備可	
			G	電源 OFF	3m	5m	0m	8		
			PT 2	2	円周	A	電源 OFF	3m	5m	0m
B	電源 OFF	3m				5m	0m	8		
C	電源 OFF	3m				5m	0m	8		
D	電源 OFF	3m				5m	0m	8		
E	電源 ON	3m				5m	0m	8	離陸準備可	
G	電源 ON	3m				5m	0m	8→7	離陸準備可	このタイミングで Wi-Fi 通信断 (8→7 セット) となる
PT 3	3	円周				A	電源 OFF	3m	5m	0m
			B	電源 OFF	3m	5m	0m	8→5		
			C	電源 OFF	3m	5m	0m	8→5		
			D	電源 ON	3m	5m	0m	8→5	離陸準備可	このタイミングで Wi-Fi 通信断 (8→5 セット) となる
			E	電源 ON	3m	5m	0m	8→5	機体接続不安定	
			G	電源 ON	3m	5m	0m	8→5	離陸準備可	
			PT 4	4	円周	A	電源 OFF	3m	5m	0m
B	電源 OFF	3m				5m	0m	8→4		
C	電源 ON	3m				5m	0m	8→4	離陸準備可	このタイミングで Wi-Fi 通信断 (8→4 セット) となる
D	電源 ON	3m				5m	0m	8→4	離陸準備可	
E	電源 ON	3m				5m	0m	8→4	機体接続不安定	
G	電源 ON	3m				5m	0m	8→4	機体接続不安定	
PT 5	5	円周				A	電源 OFF	3m	5m	0m
			B	電源 ON	3m	5m	0m	8→2	離陸準備可	このタイミングで Wi-Fi 通信断 (8→2 セット) となる
			C	電源 ON	3m	5m	0m	8→2	離陸準備可	
			D	電源 ON	3m	5m	0m	8→2	離陸準備可	
			E	電源 ON	3m	5m	0m	8→2	機体接続不安定	
			G	電源 ON	3m	5m	0m	8→2	機体接続不安定	
			PT 6	6	円周	A	電源 ON	3m	5m	0m
B	電源 ON	3m				5m	0m	8→1	離陸準備可	
C	電源 ON	3m				5m	0m	8→1	離陸準備可	
D	電源 ON	3m				5m	0m	8→1	離陸準備可	
E	電源 ON	3m				5m	0m	8→1	機体接続不安定	
G	電源 ON	3m				5m	0m	8→1	機体接続不安定	

Wi-Fi テザリング通信中（8 セット）のみの 2.4GHz 帯周波数スペクトラムを以下に示す。
なお、縦軸が電波の強さを表しており、赤色に近づくほど電波が強い。

測定器の表示において、横軸の周波数の表示下限は 2.40000GHz、表示上限は 2.50000GHz、縦軸の表示下限は-140 dB、表示上限は-40 dB で設定した。

テザリング端末からの電波強度は、-70 dB ほどで Wi-Fi の電波で中程度の強さであり、電波が無いチャンネルは、-100 dB でドローンに影響がない周辺の電波強度である。

表示画面の半分より下は、時系列の表示で、測定が安定する 7 秒まで計測し記録した。
Wi-Fi テザリング通信中の端末が多く、ドローン起動前から占有率が高いことが判る。

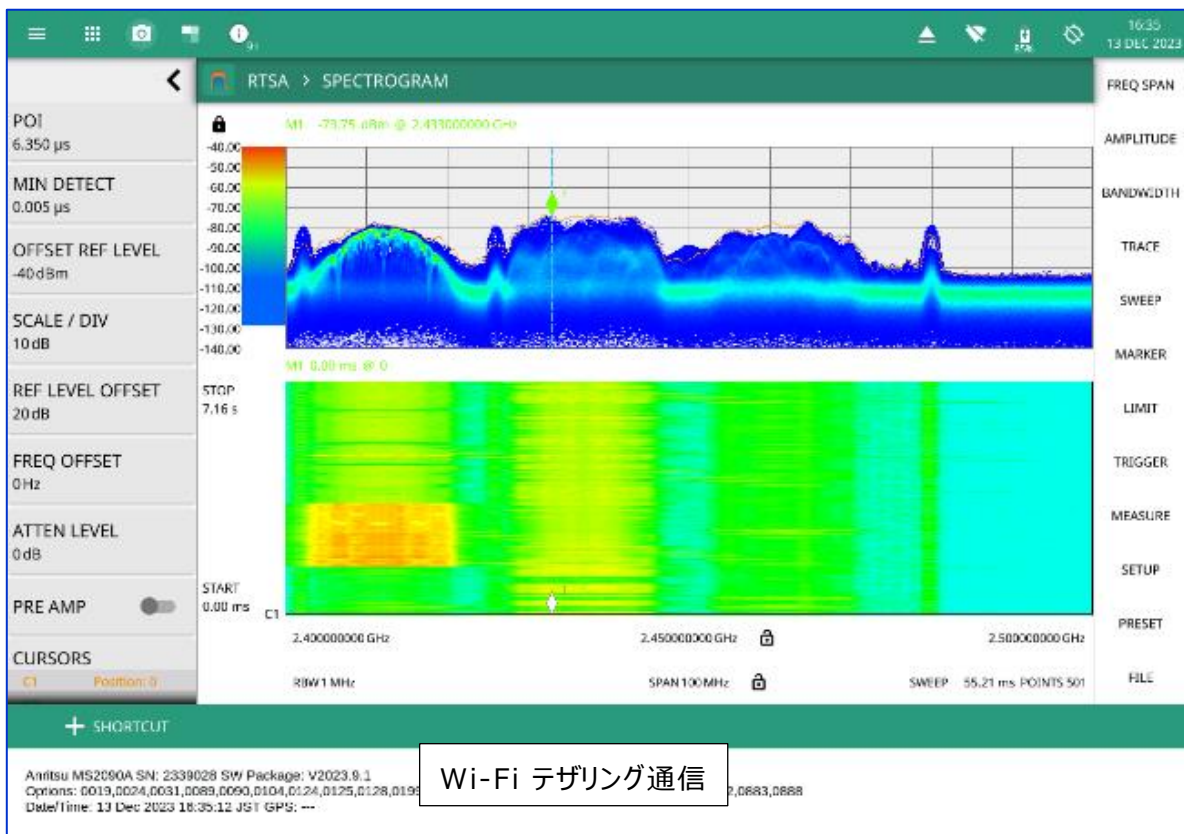


図 83 複数機体の干渉影響調査測定画面（Wi-Fi テザリング）

ドローンを1台ずつ稼働させていく過程の2.4GHz帯周波数スペクトラムを以下に示す。

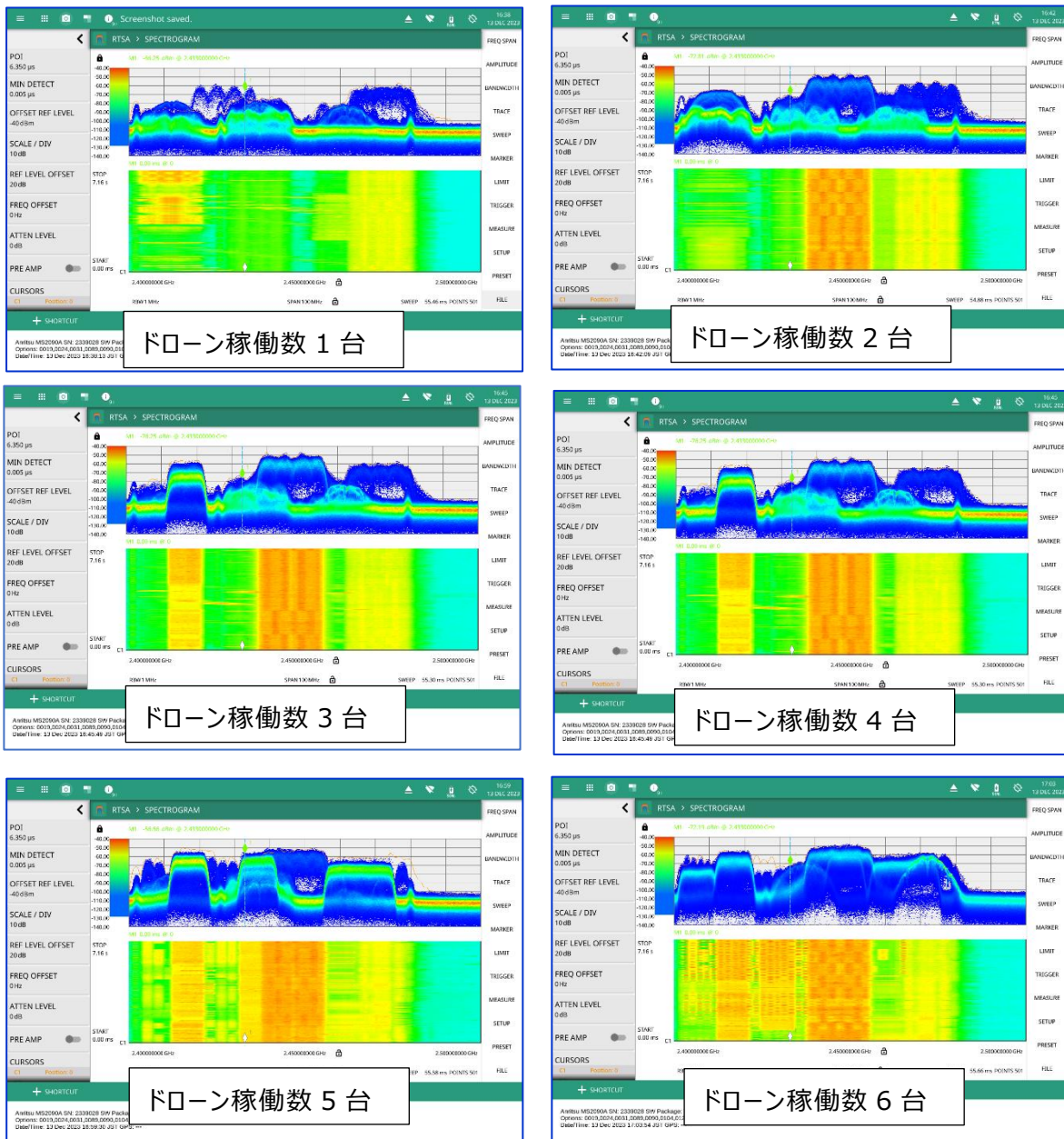


図 84 複数機体の干渉影響調査測定画面（稼働数増加）

ドローン稼働数の増加と共に、2.4GHz帯が占有される割合が多くなっている。

3台目から機体とプロポの接続が不安定な機体が増加する。ドローン相互の電波干渉の影響と思われる。（但し、接続が不安定とならない機種も存在する。）

またドローン稼働数の増加に伴い、通信が切断される端末が増加する。

Wi-Fiが使用するチャンネルとドローンの電波が干渉し、Wi-Fi端末がキャリアセンスにより、電波の送信を抑制したためと思われる。

5) 複数の機器同時使用にての電波干渉計測状況について、離隔を 6m、配置を円周で配置した際の、実証イメージを図 85、実施状況については図 86 に示す。干渉調査で取得したデータについては、表 89 に示す。

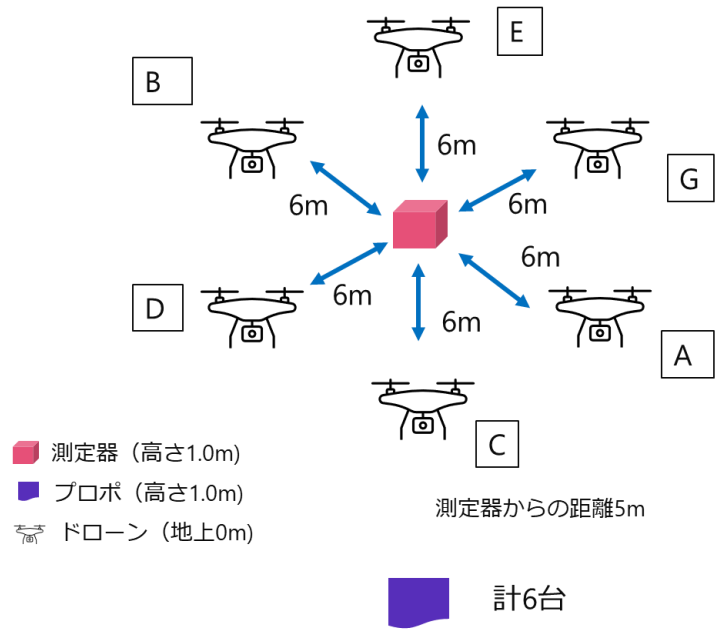


図 85 複数ドローン相互影響検証 構成 (ドローン円周配置 相互離隔 6m)



図 86 ドローン円周配置 相互離隔 6m 実施状況

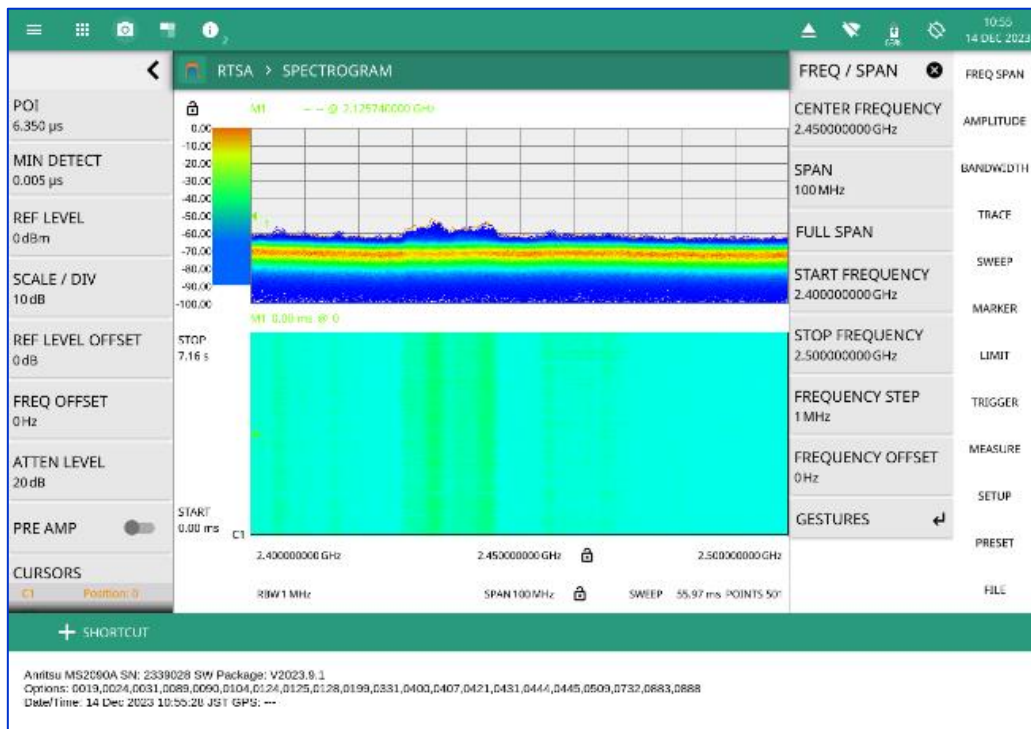
表 89 複数ドローン相互影響検証 構成 (ドローン円周配置 相互離隔 6m)

測定条件	ドローン稼働数	機体配置	ドローン機体	ドローン及びプロポ状態	測定器との離隔距離	ドローン及びプロポ離隔	高度	Wi-Fi (2.4GHz) 通信中端末	ドローン操作状況	備考
PT1	1	円周	A	電源 ON	6m	5m	0m	0	離陸準備可	
			B	電源 OFF	6m	5m	0m	0		
			C	電源 OFF	6m	5m	0m	0		
			D	電源 OFF	6m	5m	0m	0		
			E	電源 OFF	6m	5m	0m	0		
			G	電源 OFF	6m	5m	0m	0		
PT2	2	円周	A	電源 ON	6m	5m	0m	0	離陸準備可	
			B	電源 ON	6m	5m	0m	0	離陸準備可	
			C	電源 OFF	6m	5m	0m	0		
			D	電源 OFF	6m	5m	0m	0		
			E	電源 OFF	6m	5m	0m	0		
			G	電源 OFF	6m	5m	0m	0		
PT3	3	円周	A	電源 ON	6m	5m	0m	0	離陸準備可	
			B	電源 ON	6m	5m	0m	0	離陸準備可	
			C	電源 ON	6m	5m	0m	0	離陸準備可	
			D	電源 OFF	6m	5m	0m	0		
			E	電源 OFF	6m	5m	0m	0		
			G	電源 OFF	6m	5m	0m	0		
PT4	4	円周	A	電源 ON	6m	5m	0m	0	離陸準備可	
			B	電源 ON	6m	5m	0m	0	離陸準備可	
			C	電源 ON	6m	5m	0m	0	離陸準備可	
			D	電源 ON	6m	5m	0m	0	離陸準備可	
			E	電源 OFF	6m	5m	0m	0		
			G	電源 OFF	6m	5m	0m	0		
PT5	5	円周	A	電源 ON	6m	5m	0m	0	離陸準備可	
			B	電源 ON	6m	5m	0m	0	離陸準備可	
			C	電源 ON	6m	5m	0m	0	離陸準備可	
			D	電源 ON	6m	5m	0m	0	離陸準備可	
			E	電源 ON	6m	5m	0m	0	機体接続不可	
			G	電源 OFF	6m	5m	0m	0		
PT6	6	円周	A	電源 ON	6m	5m	0m	0	離陸準備可	
			B	電源 ON	6m	5m	0m	0	離陸準備可	
			C	電源 ON	6m	5m	0m	0	離陸準備可	
			D	電源 ON	6m	5m	0m	0	離陸準備可	
			E	電源 ON	6m	5m	0m	0	機体接続不可	
			G	電源 ON	6m	5m	0m	0	機体接続不安定	

試験前の 2.4GHz 帯周波数スペクトラムを以下に示す。なお、縦軸が電波の強さを表しており、赤色に近づくほど電波が強い。

測定器の表示において、横軸の周波数の表示下限は 2.40000GHz、表示上限は 2.50000GHz、縦軸の表示下限は-100 dB、表示上限は-0 dB で設定した。

表示画面の半分より下は、時系列の表示で、測定が安定する 7 秒まで計測し記録した。



試験前

図 87 複数機体の干渉影響調査測定画面（試験前）

ドローンを1台ずつ稼働させていく過程の2.4GHz帯周波数スペクトラムを以下に示す。

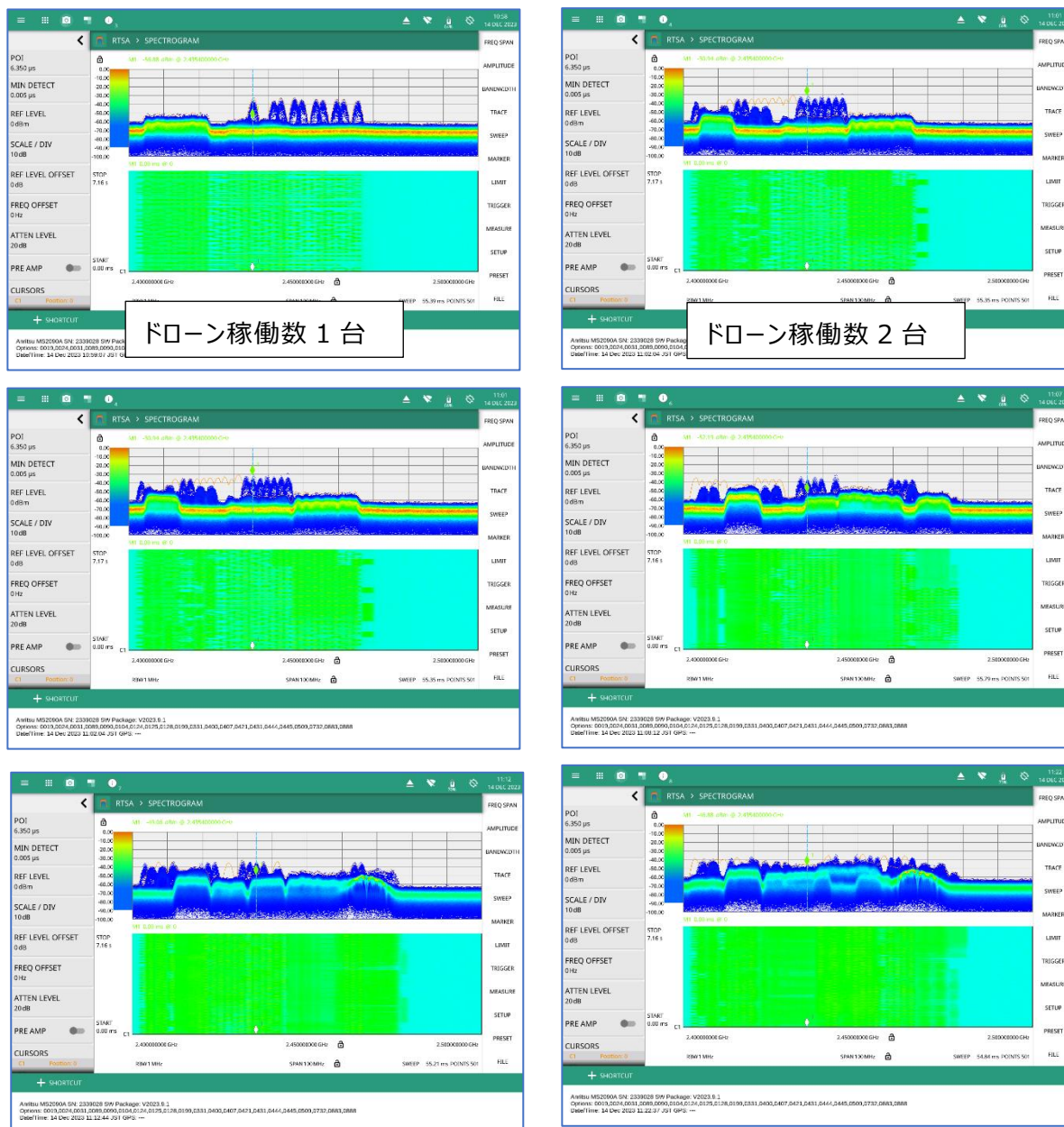


図 88 複数機体の干渉影響調査測定画面（稼働数増加）

ドローン稼働数の増加と共に、2.4GHz帯が占有される割合が多くなっている。

5台目及び6台目では機体とプロポが接続できない状態となる。ドローン相互の電波干渉の影響と思われる。

6) 複数の機器同時使用にての電波干渉計測状況について、離隔を3m、配置を直線方向で配置した際の、実証イメージを図89、実施状況については図90に示す。干渉調査で取得したデータについては、表90に示す。

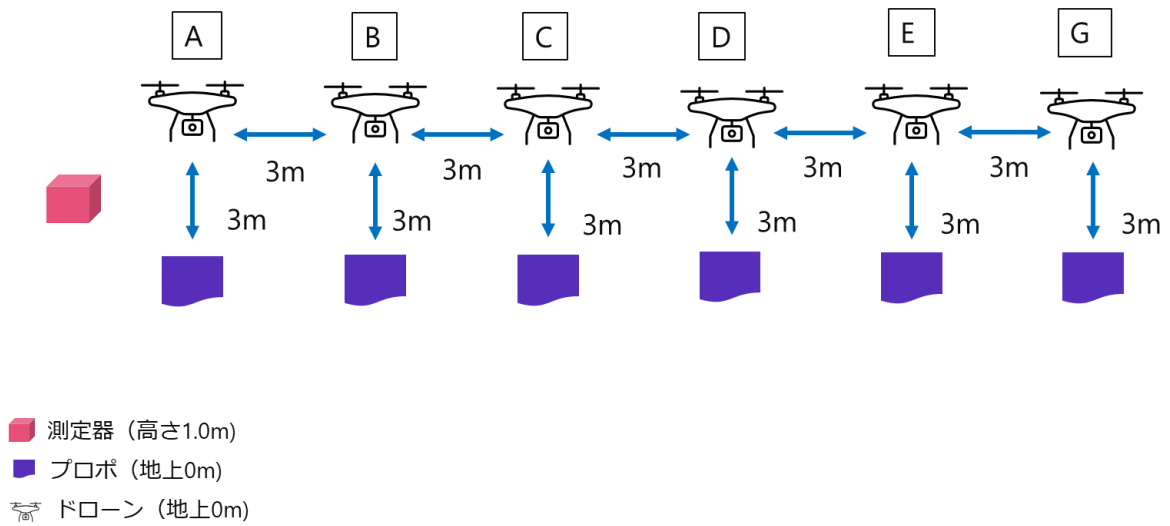


図 89 複数ドローン相互影響検証 構成 (ドローン直線配置 相互離隔 3m)



図 90 ドローン直線配置 相互離隔 3m

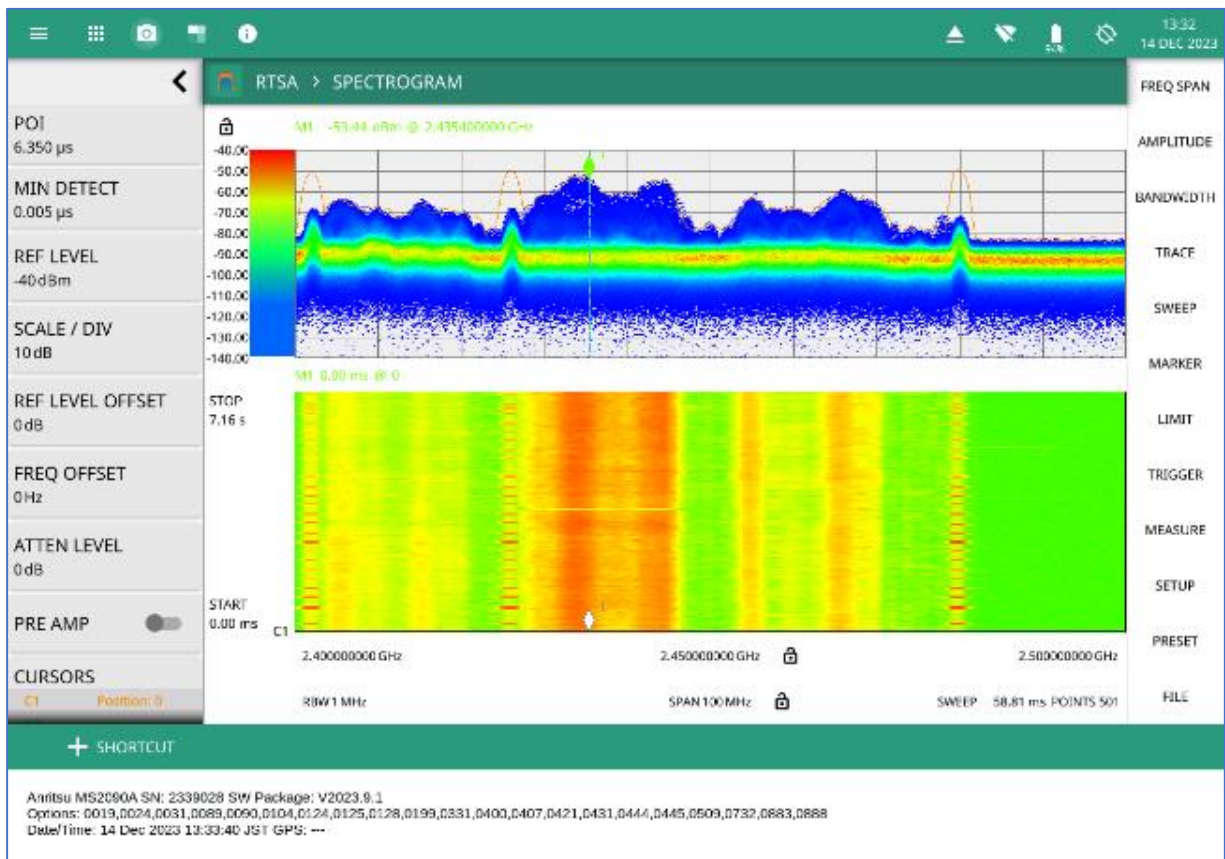
表 90 複数ドローン相互影響検証 構成 (ドローン直線配置 相互離隔 3m)

測定条件	ドローン稼働数	機体配置	ドローン機体	ドローン及びプロポ状態	ドローン間離隔	ドローン及びプロポ離隔	高度	Wi-Fi (2.4GHz) 通信中端末	ドローン操作状況	備考
PT1	1	直線	A	電源 ON	3m	3m	0m	0	離陸準備可	
			B	電源 OFF	3m	3m	0m	0		
			C	電源 OFF	3m	3m	0m	0		
			D	電源 OFF	3m	3m	0m	0		
			E	電源 OFF	3m	3m	0m	0		
			G	電源 OFF	3m	3m	0m	0		
PT2	2	直線	A	電源 ON	3m	3m	0m	0	離陸準備可	
			B	電源 ON	3m	3m	0m	0	離陸準備可	
			C	電源 OFF	3m	3m	0m	0		
			D	電源 OFF	3m	3m	0m	0		
			E	電源 OFF	3m	3m	0m	0		
			G	電源 OFF	3m	3m	0m	0		
PT3	3	直線	A	電源 ON	3m	3m	0m	0	離陸準備可	
			B	電源 ON	3m	3m	0m	0	離陸準備可	
			C	電源 ON	3m	3m	0m	0	離陸準備可	
			D	電源 OFF	3m	3m	0m	0		
			E	電源 OFF	3m	3m	0m	0		
			G	電源 OFF	3m	3m	0m	0		
PT4	4	直線	A	電源 ON	3m	3m	0m	0	離陸準備可	
			B	電源 ON	3m	3m	0m	0	離陸準備可	
			C	電源 ON	3m	3m	0m	0	離陸準備可	
			D	電源 ON	3m	3m	0m	0	離陸準備可	
			E	電源 OFF	3m	3m	0m	0		
			G	電源 OFF	3m	3m	0m	0		
PT5	5	直線	A	電源 ON	3m	3m	0m	0	離陸準備可	
			B	電源 ON	3m	3m	0m	0	離陸準備可	
			C	電源 ON	3m	3m	0m	0	離陸準備可	
			D	電源 ON	3m	3m	0m	0	離陸準備可	
			E	電源 ON	3m	3m	0m	0	機体接続不安定	カメラ映像乱れる
			G	電源 OFF	3m	3m	0m	0		
PT6	6	直線	A	電源 ON	3m	3m	0m	0	離陸準備可	
			B	電源 ON	3m	3m	0m	0	離陸準備可	
			C	電源 ON	3m	3m	0m	0	離陸準備可	
			D	電源 ON	3m	3m	0m	0	離陸準備可	
			E	電源 ON	3m	3m	0m	0	機体接続不安定	カメラ映像乱れる
			G	電源 ON	3m	3m	0m	0	機体接続不安定	カメラ映像乱れる

試験前の 2.4GHz 帯周波数スペクトラムを以下に示す。なお、縦軸が電波の強さを表しており、赤色に近づくほど電波が強い。

測定器の表示において、横軸の周波数の表示下限は 2.40000GHz、表示上限は 2.50000GHz、縦軸の表示下限は-140 dB、表示上限は-40 dB で設定した。

表示画面の半分より下は、時系列の表示で、測定が安定する 7 秒まで計測し記録した。



試験前

図 91 複数機体の干渉影響調査測定画面（試験前）

ドローンを1台ずつ稼働させていく過程の2.4GHz帯周波数スペクトラムを以下に示す。

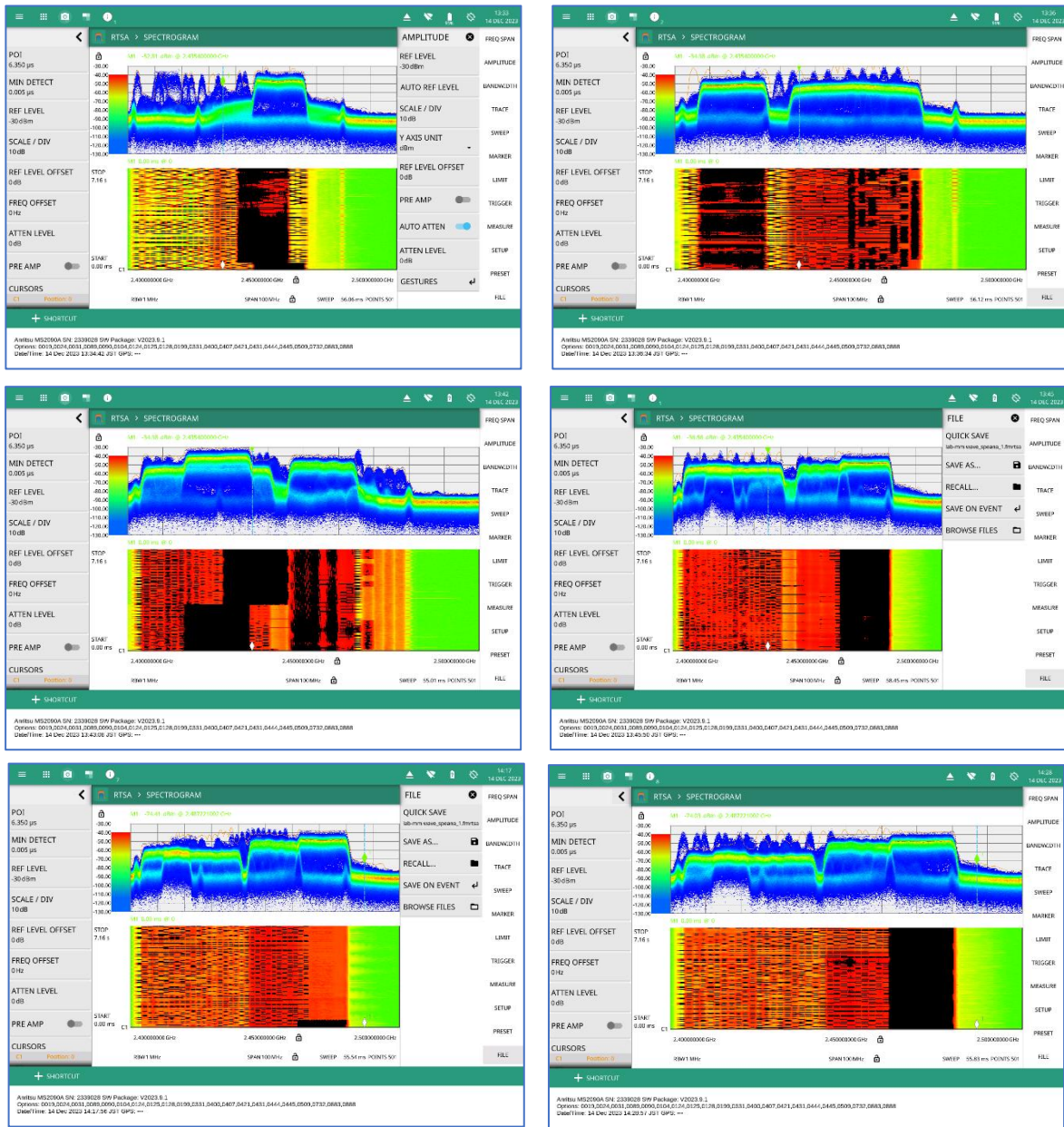


図 92 複数機体の干渉影響調査測定画面（稼働数増加）

ドローン稼働数の増加と共に、2.4GHz帯が占有される割合が多くなっている。

5台目及び6台目では機体とプロポが接続できない状態となる。ドローン相互の電波干渉の影響と思われる。

7) 複数の機器同時使用にての電波干渉計測状況について、離隔を3 m、配置を直線方向で配置した際の、実証イメージを図 93、実施状況については図 94 に示す。干渉調査で取得したデータについては、表 91 に示す。

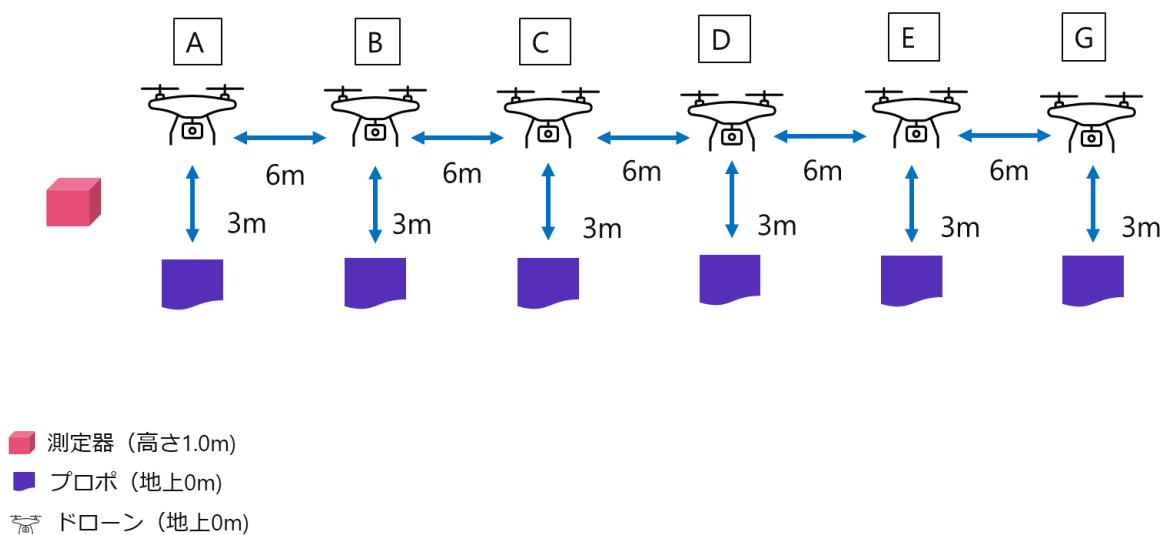


図 93 複数ドローン相互影響検証 構成 (ドローン直線配置 相互離隔 6m)



図 94 ドローン直線配置 相互離隔 6m

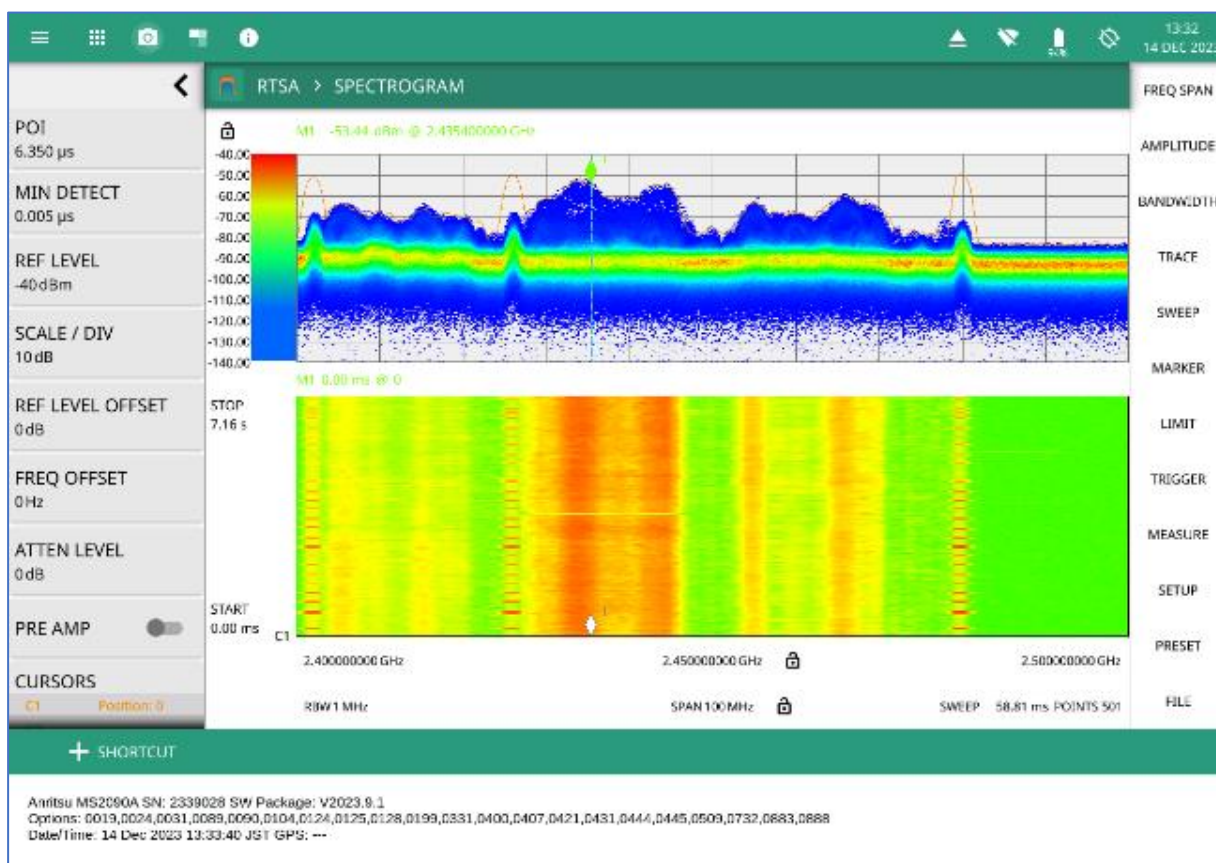
表 91 複数ドローン相互影響検証 構成 (ドローン直線配置 相互離隔 6m)

測定条件	ドローン稼働数	機体配置	ドローン機体	ドローン及びプロポ状態	ドローン間離隔	ドローン及びプロポ間離隔	高度	Wi-Fi (2.4GHz) 通信中端末	ドローン操作状況
PT1	1	直線	A	電源 ON	6m	3m	0m	0	離陸準備可
			B	電源 OFF	6m	3m	0m	0	
			C	電源 OFF	6m	3m	0m	0	
			D	電源 OFF	6m	3m	0m	0	
			E	電源 OFF	6m	3m	0m	0	
			G	電源 OFF	6m	3m	0m	0	
PT2	2	直線	A	電源 ON	6m	3m	0m	0	離陸準備可
			B	電源 ON	6m	3m	0m	0	離陸準備可
			C	電源 OFF	6m	3m	0m	0	
			D	電源 OFF	6m	3m	0m	0	
			E	電源 OFF	6m	3m	0m	0	
			G	電源 OFF	6m	3m	0m	0	
PT3	3	直線	A	電源 ON	6m	3m	0m	0	離陸準備可
			B	電源 ON	6m	3m	0m	0	離陸準備可
			C	電源 ON	6m	3m	0m	0	離陸準備可
			D	電源 OFF	6m	3m	0m	0	
			E	電源 OFF	6m	3m	0m	0	
			G	電源 OFF	6m	3m	0m	0	
PT4	4	直線	A	電源 ON	6m	3m	0m	0	離陸準備可
			B	電源 ON	6m	3m	0m	0	離陸準備可
			C	電源 ON	6m	3m	0m	0	離陸準備可
			D	電源 ON	6m	3m	0m	0	離陸準備可
			E	電源 OFF	6m	3m	0m	0	
			G	電源 OFF	6m	3m	0m	0	
PT5	5	直線	A	電源 ON	6m	3m	0m	0	離陸準備可
			B	電源 ON	6m	3m	0m	0	離陸準備可
			C	電源 ON	6m	3m	0m	0	離陸準備可
			D	電源 ON	6m	3m	0m	0	離陸準備可
			E	電源 ON	6m	3m	0m	0	離陸準備可
			G	電源 OFF	6m	3m	0m	0	
PT6	6	直線	A	電源 ON	6m	3m	0m	0	離陸準備可
			B	電源 ON	6m	3m	0m	0	離陸準備可
			C	電源 ON	6m	3m	0m	0	離陸準備可
			D	電源 ON	6m	3m	0m	0	離陸準備可
			E	電源 ON	6m	3m	0m	0	離陸準備可
			G	電源 ON	6m	3m	0m	0	離陸準備可

試験前の 2.4GHz 帯周波数スペクトラムを以下に示す。なお、縦軸が電波の強さを表しており、赤色に近づくほど電波が強い。

測定器の表示において、横軸の周波数の表示下限は 2.40000GHz、表示上限は 2.50000GHz、縦軸の表示下限は-140 dB、表示上限は-40 dB で設定した。

表示画面の半分より下は、時系列の表示で、測定が安定する 7 秒まで計測し記録した。



試験前

図 95 複数機体の干渉影響調査測定画面（稼働数増加）

ドローンを1台ずつ稼働させていく過程の2.4GHz帯周波数スペクトラムを以下に示す。

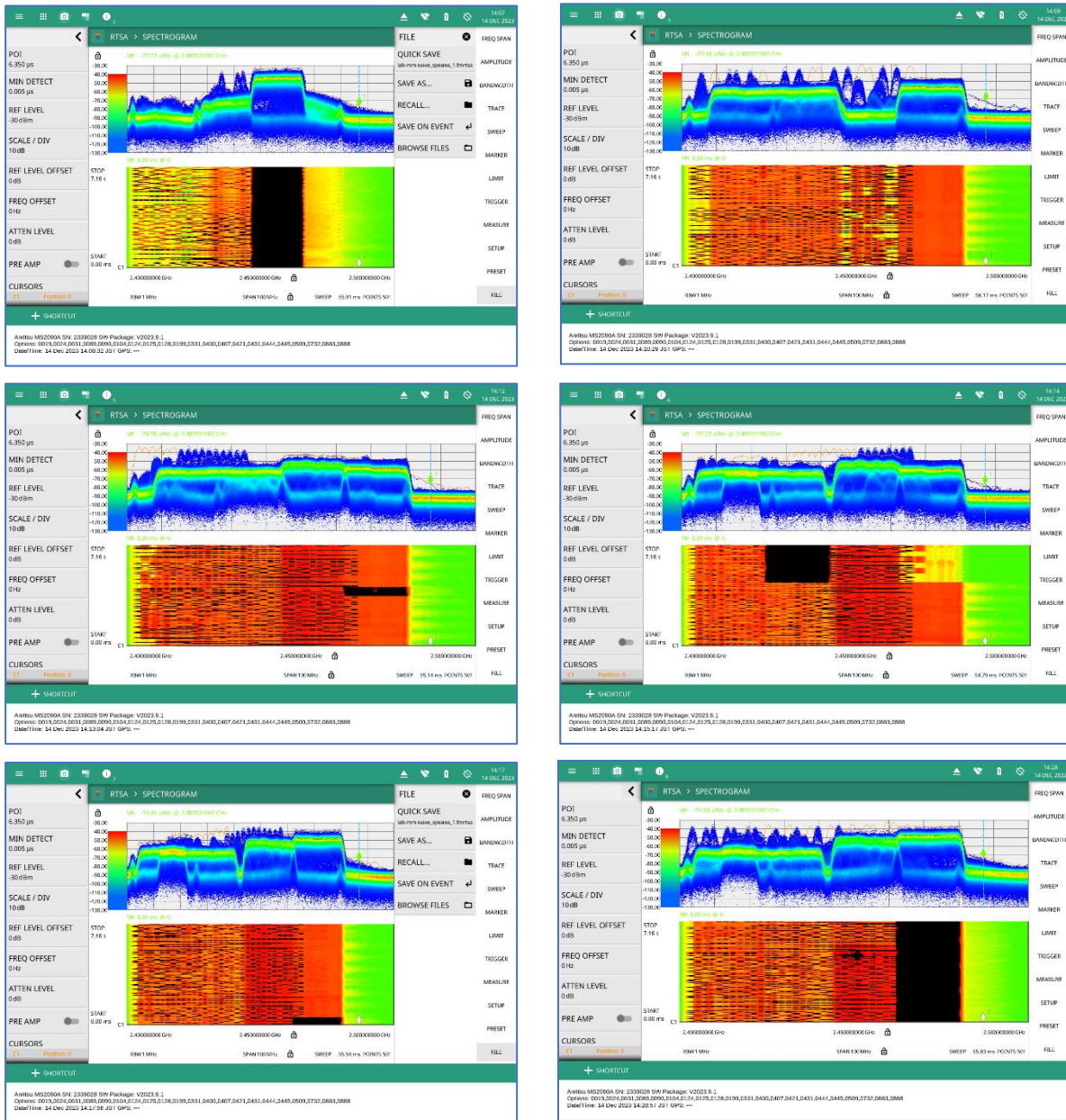


図 96 複数機体の干渉影響調査測定画面（稼働数増加）

ドローン稼働数の増加と共に、2.4GHz帯が占有される割合が多くなっている。

実証を通じてドローンの操作状況に異常は見られなかった。機体間の離隔距離が長くなり、各機体の送信する電波強度の減衰が増えたため、干渉の影響が少なくなった結果と考えられる。

そのため、機体を同時に稼働させる場合、機材の配置と距離の関係が電波途絶させないためには重要であることが分かる。

円形のような配置で機体を同時稼働させるような場合になれば、非常に電波干渉は受けやすく、電波干渉で途絶する可能性が高くなる。建物点検などの際に、ドローンでの同時稼働させる場合は、垂直方向での配置の計画及び十分な離隔距離保つことが望ましい。

c) ①機体毎の与干渉波に対する機器の電波影響把握

電波シールドテント内において、意図的に生成した電波（与干渉波）を各機体（1機種毎）に照射し、機体と送信機の接続状態が途絶するかの計測状況を以下に示す。



図 97 シールドテント内 与干渉波に対する影響調査 6機種

与干渉波は、Wi-Fi(2.4GHz 帯)のチャンネル CH1~CH14 全域相当（周波数帯占有率の高い状態）及び個別チャンネル相当（CH1、CH6、CH11）、また LTE（FDD方式）で使用される一部の周波数相当を準備した。

ドローン及びプロポを稼働状態とし、与干渉波発生器の出力レベルを徐々に変化させて、ドローンの影響度を観察した。また指向性アンテナを使用し、与干渉波の到来方向と機体の向きについても併せて確認した。

結果、与干渉波の影響と思われる異常が確認された機体が 2 機種あった。

与干渉の影響調査実施記録について、表 92～表 97 に示す。

また、表 92～表 95(表 6 の A～D)の実証機体については、与干渉波の周波数帯、ドローンに対する放射方向、また与干渉波発生器の出力レベル最大値(+20dBm)において、影響は見られなかった。

表 92 与干渉に対する影響調査実施記録（機体 A）

与干渉波条件			与干渉波放射方向 (オペレータ視点角度)	与干渉波発生器 出力レベル (dBm)	ドローン影響度 (総合判定)	ドローン状態（参考）			
						電波感度表示		映像チャンネル 2.4GHz 帯 干渉モニター	
相当チャンネル	中心周波数 (MHz)	帯域幅 (MHz)				テレメトリー (最大:5)	映像伝送 (最大:5)		
Wi-Fi	全域(CH1~CH14)	2441	約 85	機体正面（0度）	+20.0（※）	支障無し(離陸準備可能)	4	4~5	干渉検出
				機体右側面（90度）	+20.0（※）	支障無し(離陸準備可能)	4	5	干渉検出
				機体背面（180度）	+20.0（※）	支障無し(離陸準備可能)	4	4	干渉検出
				機体左側面（270度）	+20.0（※）	支障無し(離陸準備可能)	4	5	干渉検出
				機体真上	+20.0（※）	支障無し(離陸準備可能)	3	4~5	干渉検出
				機体真下	+20.0（※）	支障無し(離陸準備可能)	3	4~5	干渉検出
Wi-Fi	CH1	2412	約 18	機体正面（0度）	+20.0（※）	支障無し(離陸準備可能)	5	5	干渉検出
				機体右側面（90度）	+20.0（※）	支障無し(離陸準備可能)	5	5	干渉検出
				機体背面（180度）	+20.0（※）	支障無し(離陸準備可能)	5	5	干渉検出
				機体左側面（270度）	+20.0（※）	支障無し(離陸準備可能)	5	5	干渉検出
				機体真上	+20.0（※）	支障無し(離陸準備可能)	5	5	干渉検出
				機体真下	+20.0（※）	支障無し(離陸準備可能)	5	5	干渉検出
Wi-Fi	CH6	2437	約 18	機体正面（0度）	+20.0（※）	支障無し(離陸準備可能)	5	5	干渉検出
				機体右側面（90度）	+20.0（※）	支障無し(離陸準備可能)	5	5	干渉検出
				機体背面（180度）	+20.0（※）	支障無し(離陸準備可能)	5	5	干渉検出
				機体左側面（270度）	+20.0（※）	支障無し(離陸準備可能)	5	5	干渉検出
				機体真上	+20.0（※）	支障無し(離陸準備可能)	5	5	干渉検出
				機体真下	+20.0（※）	支障無し(離陸準備可能)	5	5	干渉検出

Wi-Fi	CH11	2462	約 18	機体正面 (0 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	5	5	干渉検出
				機体右側面 (90 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	5	5	干渉検出
				機体背面 (180 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	5	5	干渉検出
				機体左側面 (270 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	5	5	干渉検出
				機体真上	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	5	5	干渉検出
				機体真下	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	5	5	干渉検出
LTE	FDD 下りの一部	2160	約 20	機体正面 (0 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	5	5	干渉検出せず
				機体右側面 (90 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	5	5	干渉検出せず
				機体背面 (180 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	5	5	干渉検出せず
				機体左側面 (270 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	5	5	干渉検出せず
				機体真上	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	5	5	干渉検出せず
				機体真下	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	5	5	干渉検出せず
補足 ※与干渉波信号発生器の最大出力値									

表 93 与干渉に対得する影響調査実施記録（機体 B）

与干渉波条件			与干渉波放射方向 (オペレータ視点角度)	与干渉波発生器 出力レベル (dBm)	ドローン影響度 (総合判定)	ドローン状態 (参考)		
相当チャンネル	中心周波数 (MHz)	帯域幅 (MHz)				電波感度表示 RC (最大:5)	映像チャンネル 2.4GHz 帯 干渉モニター	
Wi-Fi	全域(CH1~CH14)	2441	約 85	機体正面 (0 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体右側面 (90 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体背面 (180 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体左側面 (270 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体真上	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体真下	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
Wi-Fi	CH1	2412	約 18	機体正面 (0 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体右側面 (90 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体背面 (180 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体左側面 (270 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体真上	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体真下	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
Wi-Fi	CH6	2437	約 18	機体正面 (0 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体右側面 (90 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体背面 (180 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体左側面 (270 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体真上	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体真下	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
Wi-Fi	CH11	2462	約 18	機体正面 (0 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体右側面 (90 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体背面 (180 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体左側面 (270 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体真上	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体真下	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
LTE	FDD 下りの一部	2160	約 20	機体正面 (0 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出せず
				機体右側面 (90 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出せず
				機体背面 (180 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出せず
				機体左側面 (270 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出せず
				機体真上	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出せず
				機体真下	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出せず

補足 ※与干渉波信号発生器の最大出力値

表 94 与干渉に対得する影響調査実施記録（機体 C）

与干渉波条件			与干渉波放射方向 (オペレータ視点角度)	与干渉波発生器 出力レベル (dBm)	ドローン影響度 (総合判定)	ドローン状態 (参考)		
相当チャンネル	中心周波数 (MHz)	帯域幅 (MHz)				電波感度表示 RC (最大:5)	映像チャンネル 2.4GHz 帯 干渉モニター	
Wi-Fi	全域(CH1~CH14)	2441	約 85	機体正面 (0 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	2	干渉検出
				機体右側面 (90 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	2	干渉検出
				機体背面 (180 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体左側面 (270 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体真上	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体真下	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
Wi-Fi	CH1	2412	約 18	機体正面 (0 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体右側面 (90 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体背面 (180 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体左側面 (270 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体真上	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体真下	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
Wi-Fi	CH6	2437	約 18	機体正面 (0 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体右側面 (90 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体背面 (180 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体左側面 (270 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体真上	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体真下	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
Wi-Fi	CH11	2462	約 18	機体正面 (0 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体右側面 (90 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体背面 (180 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体左側面 (270 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体真上	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
				機体真下	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出
LTE	FDD 下りの一部	2160	約 20	機体正面 (0 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出せず
				機体右側面 (90 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出せず
				機体背面 (180 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出せず
				機体左側面 (270 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出せず
				機体真上	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出せず
				機体真下	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	3	干渉検出せず

補足 ※与干渉波信号発生器の最大出力値

表 95 与干渉に対得する影響調査実施記録（機体 D）

与干渉波条件			与干渉波放射方向 (オペレータ視点角度)	与干渉波発生器 出力レベル (dBm)	ドローン影響度 (総合判定)	ドローン状態 (参考)		
相当チャンネル	中心周波数 (MHz)	帯域幅 (MHz)				電波感度表示		
							TLM (最大:4)	RC (最大:4)
Wi-Fi	全域(CH1~CH14)	2441	約 85	機体正面 (0 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	4	4
				機体右側面 (90 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	4	4
				機体背面 (180 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	4	4
				機体左側面 (270 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	4	4
				機体真上	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	4	4
				機体真下	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	4	4
Wi-Fi	CH1	2412	約 18	機体正面 (0 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	4	4
				機体右側面 (90 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	4	4
				機体背面 (180 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	4	4
				機体左側面 (270 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	4	4
				機体真上	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	4	4
				機体真下	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	4	4
Wi-Fi	CH6	2437	約 18	機体正面 (0 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	4	4
				機体右側面 (90 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	4	4
				機体背面 (180 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	4	4
				機体左側面 (270 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	4	4
				機体真上	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	4	4
				機体真下	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	4	4
Wi-Fi	CH11	2462	約 18	機体正面 (0 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	4	4
				機体右側面 (90 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	4	4
				機体背面 (180 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	4	4
				機体左側面 (270 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	4	4
				機体真上	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	4	4
				機体真下	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	4	4
LTE	FDD 下りの一部	2160	約 20	機体正面 (0 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	4	4
				機体右側面 (90 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	4	4
				機体背面 (180 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	4	4
				機体左側面 (270 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	4	4
				機体真上	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	4	4
				機体真下	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	4	4

補足 ※与干渉波信号発生器の最大出力値

表 96 与干渉に対得する影響調査実施記録（機体 E）

与干渉波条件			与干渉波放射方向 (オペレータ視点角度)	与干渉波発生器 出力レベル (dBm)	ドローン影響度 (総合判定)	ドローン状態 (参考)		
相当チャンネル	中心周波数 (MHz)	帯域幅 (MHz)				電波感度表示 RC (最大:6)	映像チャンネル 2.4GHz 帯 干渉モニター	
Wi-Fi	全域(CH1~CH14)	2441	約 85	機体正面 (0 度)	-15.0 以上	支障あり(離陸準備不可)	切断	干渉検出
				機体右側面 (90 度)	-15.0 以上	支障あり(離陸準備不可)	切断	干渉検出
				機体背面 (180 度)	-15.0 以上	支障あり(離陸準備不可)	切断	干渉検出
				機体左側面 (270 度)	-13.0 以上	支障あり(離陸準備不可)	切断	干渉検出
				機体真上	-9.0 以上	支障あり(離陸準備不可)	切断	干渉検出
				機体真下	-15.0 以上	支障あり(離陸準備不可)	切断	干渉検出
Wi-Fi	CH1	2412	約 18	機体正面 (0 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	6	不明 (アプリで変化なし)
				機体右側面 (90 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	6	不明 (アプリで変化なし)
				機体背面 (180 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	6	不明 (アプリで変化なし)
				機体左側面 (270 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	6	不明 (アプリで変化なし)
				機体真上	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	6	不明 (アプリで変化なし)
				機体真下	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	6	不明 (アプリで変化なし)
Wi-Fi	CH6	2437	約 18	機体正面 (0 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	6	不明 (アプリで変化なし)
				機体右側面 (90 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	6	不明 (アプリで変化なし)
				機体背面 (180 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	6	不明 (アプリで変化なし)
				機体左側面 (270 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	6	不明 (アプリで変化なし)
				機体真上	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	6	不明 (アプリで変化なし)
				機体真下	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	6	不明 (アプリで変化なし)
Wi-Fi	CH11	2462	約 18	機体正面 (0 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	6	不明 (アプリで変化なし)
				機体右側面 (90 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	6	不明 (アプリで変化なし)
				機体背面 (180 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	6	不明 (アプリで変化なし)
				機体左側面 (270 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	6	不明 (アプリで変化なし)
				機体真上	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	6	不明 (アプリで変化なし)
				機体真下	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	6	不明 (アプリで変化なし)
LTE	FDD 下りの一部	2160	約 20	機体正面 (0 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	6	不明 (アプリで変化なし)
				機体右側面 (90 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	6	不明 (アプリで変化なし)
				機体背面 (180 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	6	不明 (アプリで変化なし)
				機体左側面 (270 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	6	不明 (アプリで変化なし)
				機体真上	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	6	不明 (アプリで変化なし)
				機体真下	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	6	不明 (アプリで変化なし)

補足 ※与干渉波信号発生器の最大出力値

機体 E については、Wi-Fi(2.4GHz)のチャンネル全域（周波数帯の占有率が高い状態）に相当する与干渉波で、ドローンの操縦に対する支障を確認した。

具体的には、ドローンとプロポの接続が切断され離陸準備不可となる。その際の与干渉波発生器の出力レベルは、機体の向きにより最大で-9.0dBm 以上、最小で-15.0dBm 以上であった。

接続不可時の与干渉波の電波受信強度：約-46.0dBm（最小値）

（算出式）

与干渉波の電波受信強度(dBm)=与干渉波発生器出力(dBm) - ケーブル損失(dB) +
アンテナ利得(dBi) - 自由空間電波損失(dB)

ドローンと与干渉波出力アンテナの離隔距離：0.5m

2.4GHz 帯周波数の波長から算出した自由空間電波損失は約 34dB

与干渉波出力アンテナ利得：5dBi

接続ケーブル損失：約 2dB

接続不可時の与干渉波発生器出力：約-15.0dBm（最小値）

表 97 与干渉に対得する影響調査実施記録（機体 G）

与干渉波条件			与干渉波放射方向 (オペレータ視点角度)	与干渉波発生器 出力レベル (dBm)	ドローン影響度 (総合判定)	ドローン状態 (参考)	
相当チャンネル	中心周波数 (MHz)	帯域幅 (MHz)				機体接続状態表示	
Wi-Fi	全域(CH1~CH14)	2441	約 85	機体正面 (0 度)	-13.0 以上	支障あり(離陸不可)	未接続
				機体右側面 (90 度)	-13.0 以上	支障あり(離陸不可)	未接続
				機体背面 (180 度)	-13.0 以上	支障あり(離陸不可)	未接続
				機体左側面 (270 度)	-13.0 以上	支障あり(離陸不可)	未接続
				機体真上	-13.0 以上	支障あり(離陸不可)	未接続
				機体真下	-10.0 以上	支障あり(離陸不可)	未接続
Wi-Fi	CH1	2412	約 18	機体正面 (0 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	接続
				機体右側面 (90 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	接続
				機体背面 (180 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	接続
				機体左側面 (270 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	接続
				機体真上	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	接続
				機体真下	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	接続
Wi-Fi	CH6	2437	約 18	機体正面 (0 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	接続
				機体右側面 (90 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	接続
				機体背面 (180 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	接続
				機体左側面 (270 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	接続
				機体真上	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	接続
				機体真下	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	接続
Wi-Fi	CH11	2462	約 18	機体正面 (0 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	接続
				機体右側面 (90 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	接続
				機体背面 (180 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	接続
				機体左側面 (270 度)	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	接続
				機体真上	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	接続
				機体真下	+20.0 (※)	支障無し(離陸準備可能)	接続
LTE	FDD 下りの一部	2160	約 20	機体正面 (0 度)	+18.0 以上	支障あり(映像乱れ)	接続
				機体右側面 (90 度)	+18.0 以上	支障あり(映像乱れ)	接続
				機体背面 (180 度)	+18.0 以上	支障あり(離陸不可)	未接続
				機体左側面 (270 度)	+18.0 以上	支障あり(離陸準備不可)	未接続
				機体真上	+18.0 以上	支障あり(離陸準備不可)	未接続
				機体真下	-16.0 以上	支障あり(離陸準備不可)	未接続

補足 ※与干渉波信号発生器の最大出力値

機体 G については、下記 2 つの条件でドローンの操縦に対する支障を確認した。

- ・Wi-Fi(2.4GHz)のチャンネル全域相当（周波数帯の占有率が高い状態）
ドローンとプロポの接続が切断され、ドローンの離陸準備不可となる。
その際の与干渉波発生器の出力レベルは、機体の向きにより最大-10.0dBm 以上、
最小-13.0dBm 以上であった。

接続不可時の与干渉波の電波受信強度:約-44dBm(最小値)

ドローンと与干渉波出力アンテナの離隔距離：0.5m
2.4GHz 帯周波数の波長から算出した自由空間電波損失は約 34dB
与干渉波出力アンテナ利得：5dBi
接続ケーブル損失：約 2dB
接続不可時の与干渉波発生器出力：-13dBm（最小値）

- ・LTE（FDD 下りの一部）相当
ドローンとプロポの接続が切断され、ドローンの離陸準備不可となる。
その際の干渉波発生器の出力レベルは、機体の向きにより
最大+18.0dBm 以上、最小-16.0dBm 以上であった。

接続不可時の与干渉波の電波受信強度:約-46dBm(最小値)

ドローンと与干渉波出力アンテナの離隔距離：0.5m
2.1GHz 帯周波数の波長から算出した自由空間電波損失：約 33dB
与干渉波出力アンテナ利得：5dBi
接続ケーブル損失：約 2dB
接続不可時の与干渉波発生器出力：-16dBm（最小値）

(算出式)

与干渉波の電波受信強度(dBm)=与干渉波発生器出力(dBm) - ケーブル損失(dB) +
アンテナ利得(dBi) - 自由空間電波損失(dB)

各機体の向きを変えて実施した際の実施状況については、以下図 98 に示す。
上記の通り、与干渉にて機体の通信が途絶した状況については、図 99 に示す。

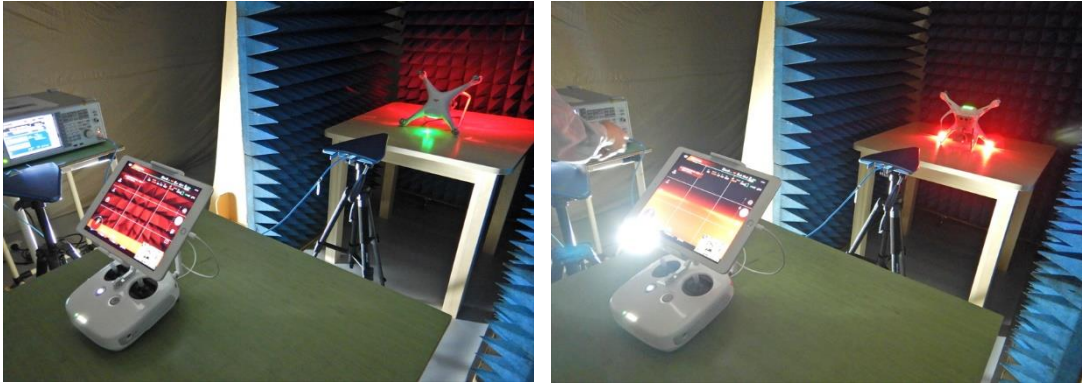


図 98 機首変更実施状況

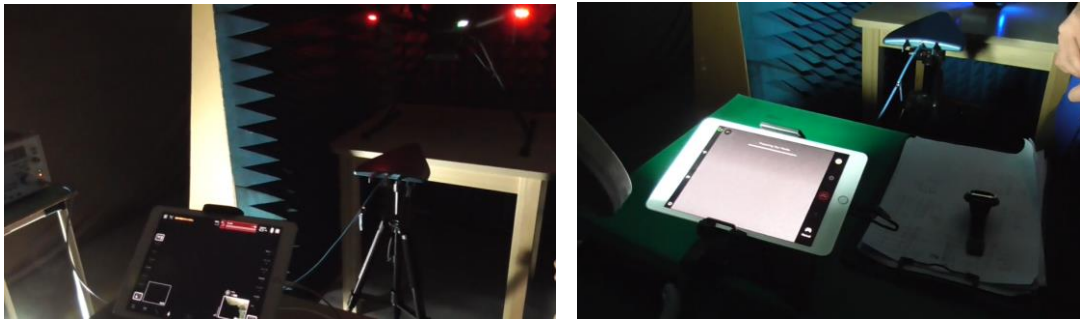


図 99 機体通信途絶状況

結果として、電波の干渉にて機体と送信機の接続状態途絶した機体が 2 機種あった。
そのため、屋外等の同一環境であっても、機体（電波干渉しやすい）によっては接続状態途絶となる可能性がある。

C) ②建物屋上現用携帯基地局との1機ずつ、メーカ・機種ごとの電波干渉調査

ミライト新木場ビル屋上部で、現用携帯基地局（携帯キャリアのアンテナ）との機体に対する干渉について、各機体（1機種毎）電波干渉調査を行った。機体毎に、地上面では送信機にて通信状況の確認、屋上面では機体を配置し、現用のアンテナ近隣で電波干渉が発生するか計測を行った。

計測状況について地上部送信側を図100、屋上部機体側を図101に示す。



図 100 電波干渉送信機側



図 101 電波干渉機体側

現用基地局近隣屋上面でドローンの電源を立ち上げ、送信機の疎通を確認し、電波干渉を確認した結果、以下の通り、一部機体にて、電波干渉を受け通信が遮断される結果となった。

表 98 電波干渉一覧

機体	電波干渉	電波状況
A	無	○
B	無	○
C	無	○
D	無	○
E	有	×遮断
G	有	×遮断

電波干渉を受けなかった機種についての、電波状況を図 102、電波状況の干渉を受け通信が遮断された機種画面キャプチャを図 103 に示す。



図 102 電波干渉無し機種画面

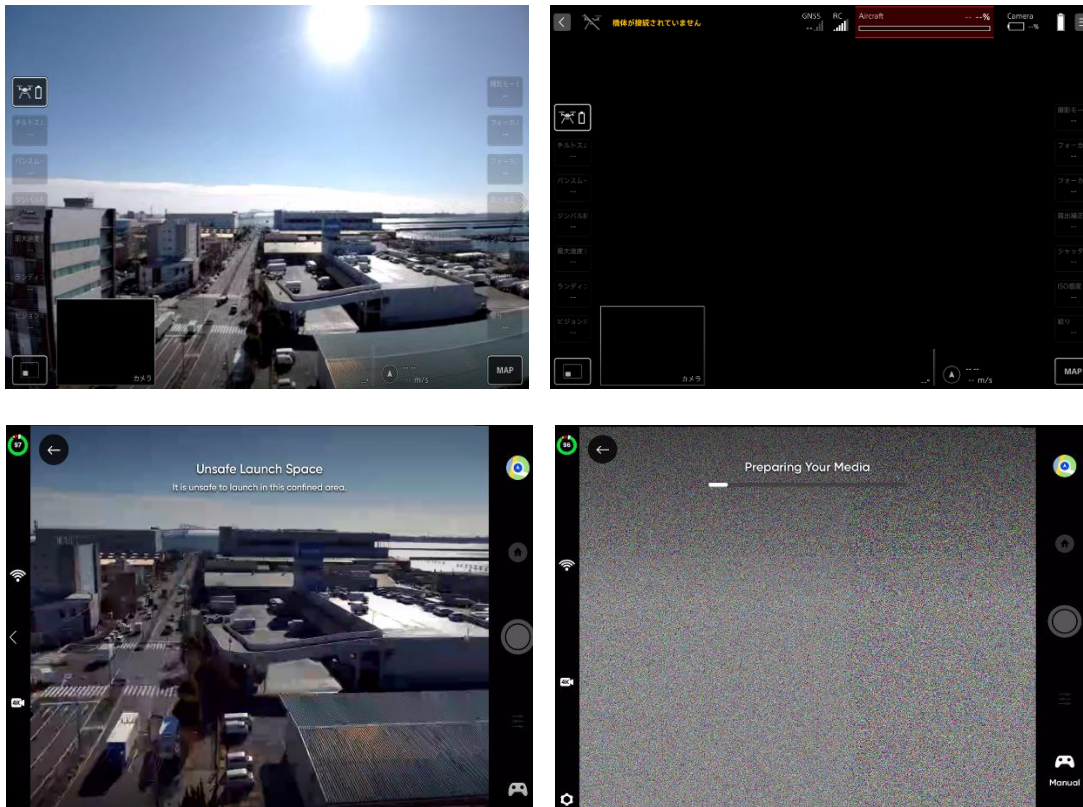


図 103 電波干渉あり 通信遮断機種画面

特定機種において、電波の干渉影響が大きい結果は「与干渉に対する影響」「複数機体、複数の電波発射機器の影響調査」の結果とも相関関係にある。

(2)まとめ

a) 建物周辺の電波影響調査

ドローン飛行に影響を与える可能性があると思われる 2.4GHz 帯及び近接する周波数帯(2.1GHz～5GHz)に関して、外壁からの離隔距離及び高さ(3m、6m、9m)にて受信電波強度を測定した結果、あまり大きな変化はなかった。もともと、窓際に設置した Wi-Fi 端末からの距離に比例していると思われ、伝搬距離により電波強度が減衰したものは確認できた。通信事業者の基地局から放出される電波伝搬エリア(セル)が広いことを想定した上で、ドローン飛行にどのように影響するかの観点を持つことが重要と考えられる。低中層の建物であれば、電波の影響が大きな変化をすることは比較的少ないのではないかと考えられる。超高層の建物であれば、その限りではないので注意が必要である。

b) ドローン同士の電波影響調査、複数同時稼働による電波帯域占有確認

建物内の Wi-Fi アクセスポイントによる 2.4GHz 帯の電波、複数チャネルの占有状況によって大きな干渉を受ける機種は、機体の制御を失う危険が大きい。建物点検などの際に、ドローンでの同時稼働をさせる場合は、垂直方向での配置の計画及び十分な離隔距離を保つことが電波干渉を防ぎ、安全性が高いことが改めて検証できた。

c) 機体毎の与干渉波に対する機器の電波影響把握

電波暗室内での与干渉波にて、電波干渉の影響で電波が途絶し、ドローンの稼働不可能が 2 機種あった。屋外等の同一環境であっても、電波干渉しやすい機体があるため、建物点検する際の電波干渉または機種選定は非常に重要なことが分かる。

また、実証項目 a)、b)における各場面、各測定場所にて専門性の高いマルチスペクトラムアナライザに併せて、スマートフォンアプリの WiFi Analyzer にて周辺の Wi-Fi 混雑状況、占有状況の現状把握の可能性を確認した。ただし、地上や屋上での確認に限られることや、アプリで表示されるアクセスポイントの数が安定しないことなどから補助的ツールとしての使用は可能という範囲と考える。スマートフォンアプリと併せて、送信機内蔵のアプリケーション上で干渉状況の確認可能な機種を活用し、現場調査などで事前に地上面と屋上面で電波干渉を可視化の確認することが必要である。

3.2.3 3D データ作成（実施項目③）

(1) 3D データ作成の実証及び評価の範囲

3D データ作成については、3 つのパターンを実証しているが、前述のとおりそれぞれ以下の方法で評価する。

a) 建物の設計図面から作成した3Dデータとドローンで取得した点群データから作成した現状の建物の3Dデータとの比較

評価方法、基準：実取得3D点群と3Dデータの比較をPC画面上にて目視により確認し、参考値を考察する。

b) 建物に疑似的に変状を発生させてドローンから取得したデータでどの程度判断できるかの確認

評価方法、基準：TREND-POINTの凹凸計測機能で凹凸の大きさをmm単位で確認できるか検証する

c) 建物の写真から3Dデータを作成し、経年劣化や損傷をPC画面上で判別できるかの確認

評価方法、基準：構築した3Dデータにて、経年劣化や損傷をPC画面上にて目視確認できるかを検証する。

具体的な実証の結果とその評価については、以下で詳細を示す。

a) 建物の設計図面から作成した3Dデータとドローンにより取得した建物の3Dデータとの比較

① 建物の設計図面から3Dデータの作成

建物の設計図面（図 104～図 106）から TREND-CORE を使用し、3D データを作成した。3D データを作成するにあたって、平面図と立面図を使用し、建物の位置や高さ・ガラスなどの構造物の外形を手作業にてトレースし 3D モデリングを行った。

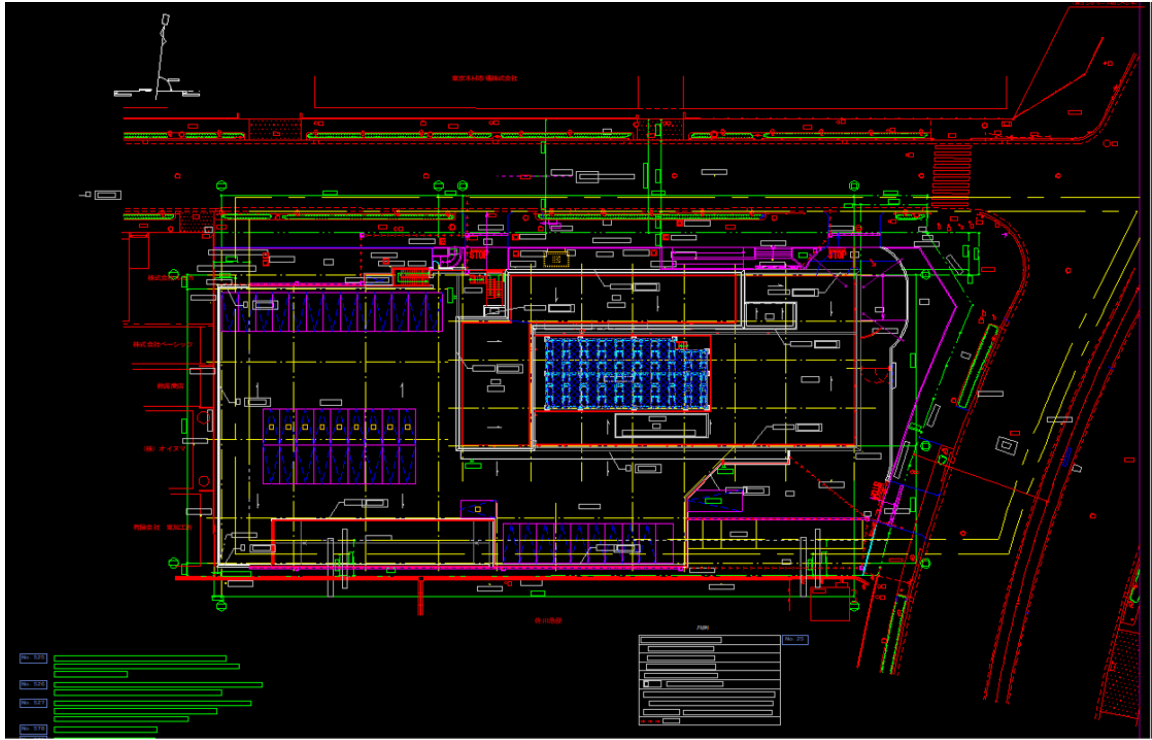


図 104 3D データ作成に使用した平面図

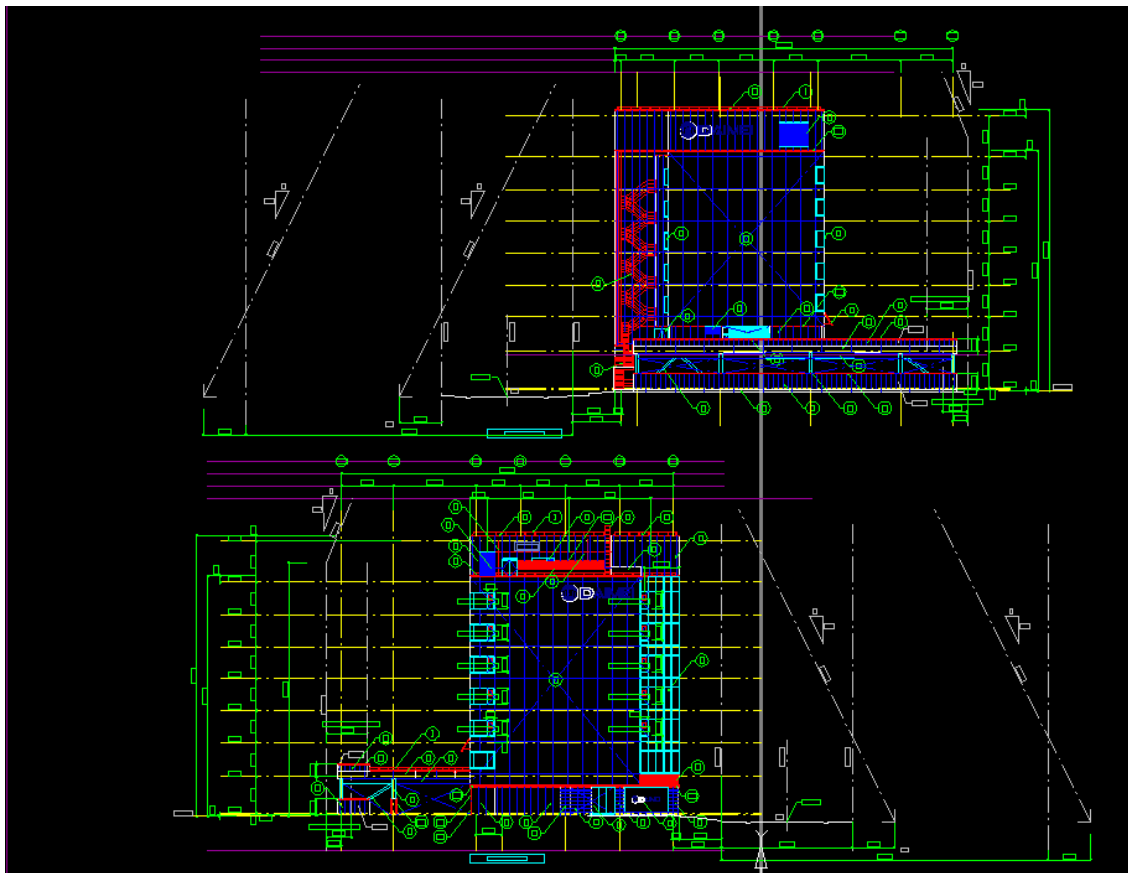


図 105 3D データ作成に使用した立面図(西面・東面)

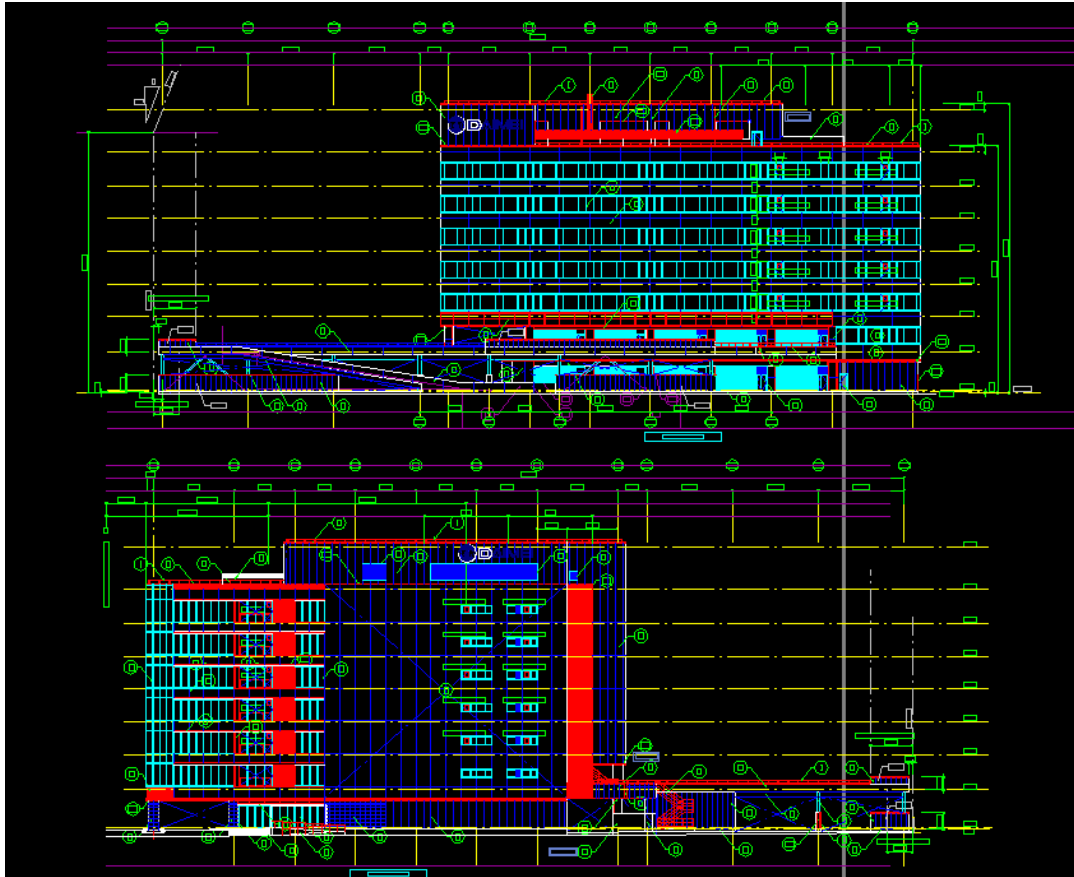


図 106 3D データ作成に使用した立面図(北面・南面)

3D データの作成手順として、建物の 1 階～屋上までの外形を平面図からトレースした後、次に建屋の形状を平面図からトレースし、3D 化を行った。続いて、立面図から高さを計算し、先に作成し 3D 化した 1 階～屋上までの 3D データと合成を行った。その後、窓ガラスや室外機などを合成した。作成した 3D データについては、図 107 建物設計図面より作成した 3D データに示す。

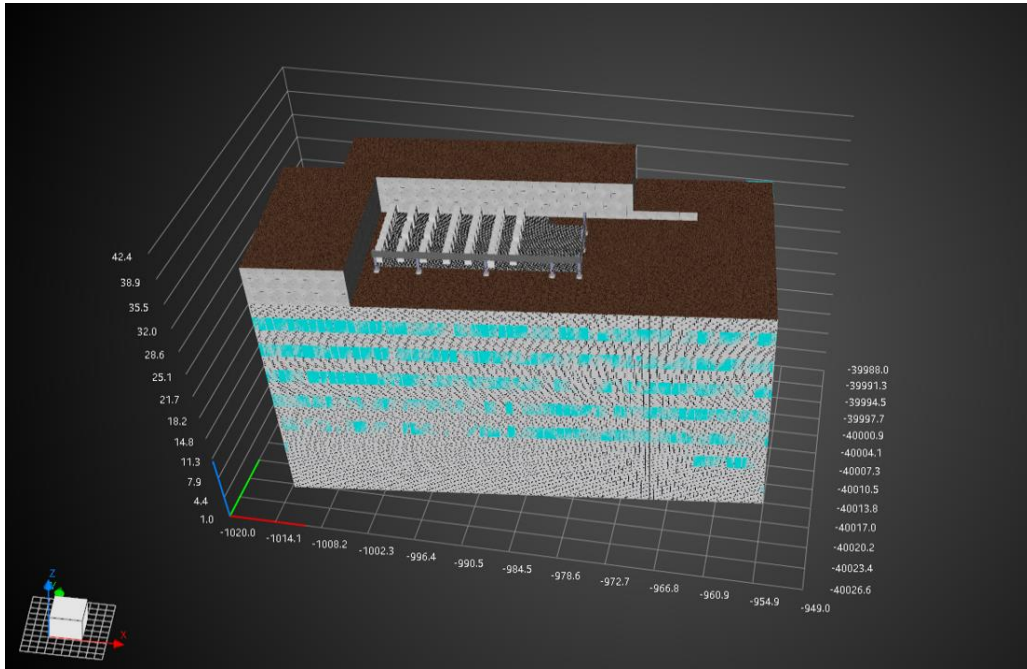


図 107 建物設計図面より作成した 3D データ

② 現状建物よりドローン飛行にて現地点群データを取得

新木場ビルでドローンに搭載した LiDAR センサにより点群データ取得を行った。当初の計画では下記のフライトミッションにて自動飛行を計画していた。

【フライト内容】

(ア) パターン①

高度 60m

SL:70% OL:80%

カメラ角度-90 度 1 ルート

カメラ角度-45 度 4 ルート

(イ) パターン②

高度 60m

SL:35%

OL:40%

カメラ角度-90 度 1 ルート

カメラ角度-45 度 4 ルート

もともと、都心部という周辺環境等を考慮し、安全面を最優先して、フライアウェイの防止、また、建物の外には出ないように、係留装置（一点係留）を使用し手動にてフライトを実施した。

手動飛行を選んだ理由としては、送信機の画面を見ながら飛ばすことによって敷地外に出ることを防ぐこと、自動飛行による飛行で係留装置の紐が周辺の風速や状況などから絡まる可能性を防止することを考慮し、より安全に飛行させるためである。

また、今回使用した LiDAR センサの特徴であるリアルタイムで取得している点群データを、送信機で確認しながらカメラのチルト角度や機体の高度を調整しデータの取得を行った。

手動操作でのフライト情報については表 99 に、飛行ルートは図 108 に、作業実施状況については図 109 に示す。

表 99 現地でのフライト情報

操作	マニュアルモード
高度	43.58m
速度	1.96m/S
照射モード	3 リターン
カメラ角度	-90°、-45°
点群密度	16 ポイント/㎡
グラウンドビーム径	217mm*21mm
パルスレート	240kHz
スキャンレート	720kHz



図 108 飛行ルート図(赤：カメラ角度-90 度、黄：カメラ角度-45 度)

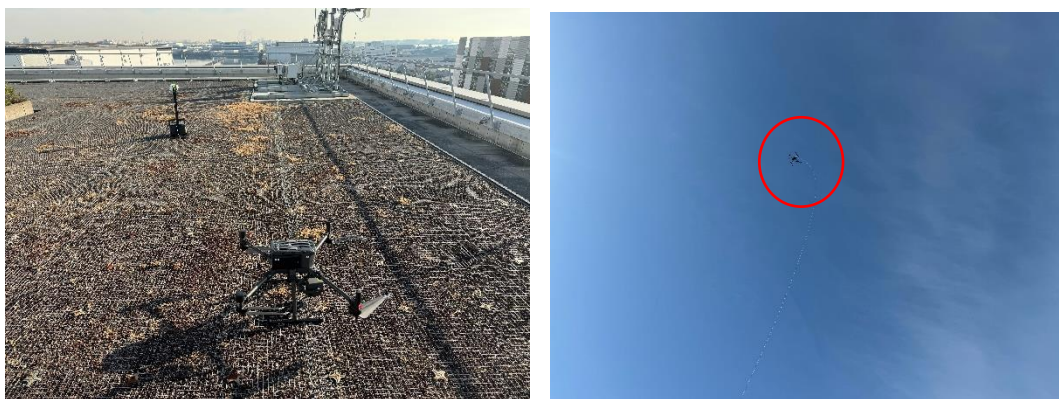


図 109 ドローン飛行前状況(左) ドローン飛行状況(右)

③ 取得した点群データを解析アプリにて、3D 点群データを作成

ドローンで取得したデータを DJI terra で処理をし、点群データを作成した。構築したときの設定を表 100 に示す。

表 100 構築パラメーター

点群密度	高
シナリオ	点群処理
点群有効距離	300m
点群フォーマット	LAS
水平データム設定	JGD2011/Japan Plane Rectangular CS IX
ジオイド設定	JGD2011(vertical)height

上記設定により点群構築の処理を行い作成した点群を以下に示す。

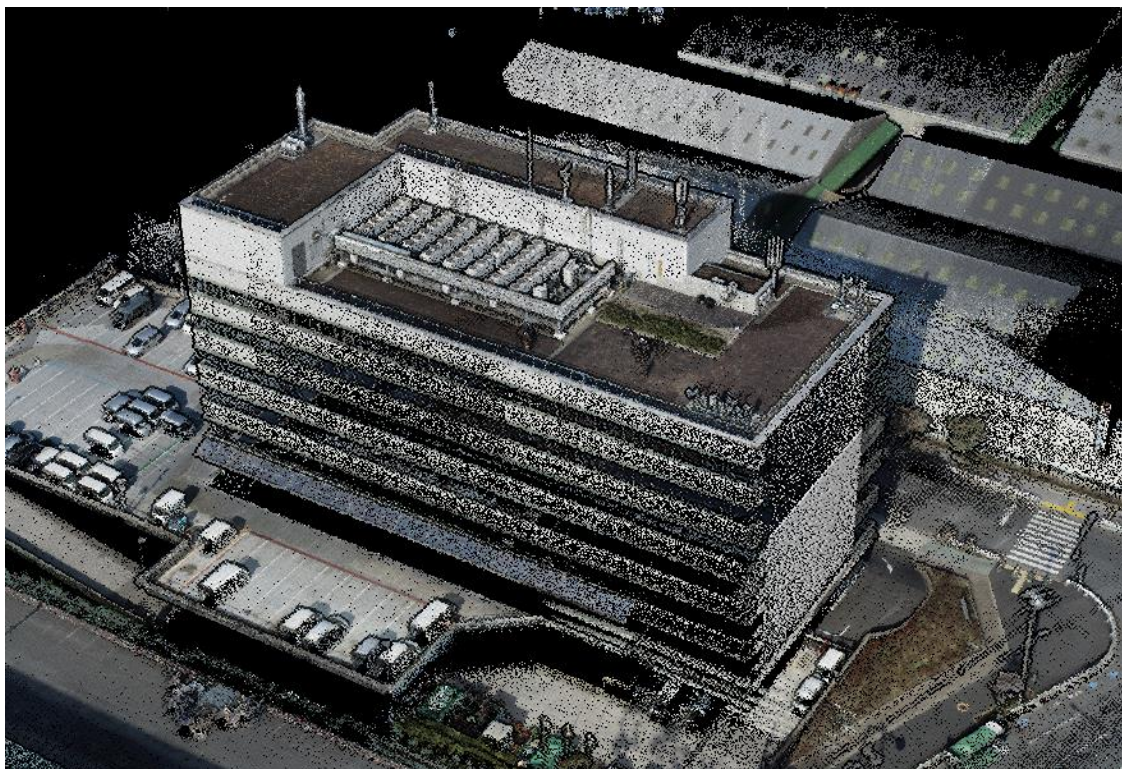


図 110 点群処理後

④ 建物の設計図面から作成した 3D データ (①) とドローンにより取得した建物の 3D データ (②及び③) との比較

設計図面より TREND-CORE を用いて作成した 3D データと、現地で取得した点群データを重ね合わせ位置のずれ等が確認できるのか実証を行った。設計図面から作成した 3D データと現地で取得した点群データを、TREND-POINT (点群の差分解析アプリ) を使用し差分解析を行った。差分解析を行うために、作成した 3D データと点群データを重ね合わせた。作成した 3D データ及び点群データについて、図 111 3D データ(左)と現地取得した点群データ(右)に示す。また、比較を行うために作成したデータを重ね合わせた状態について、図 112 に示す。

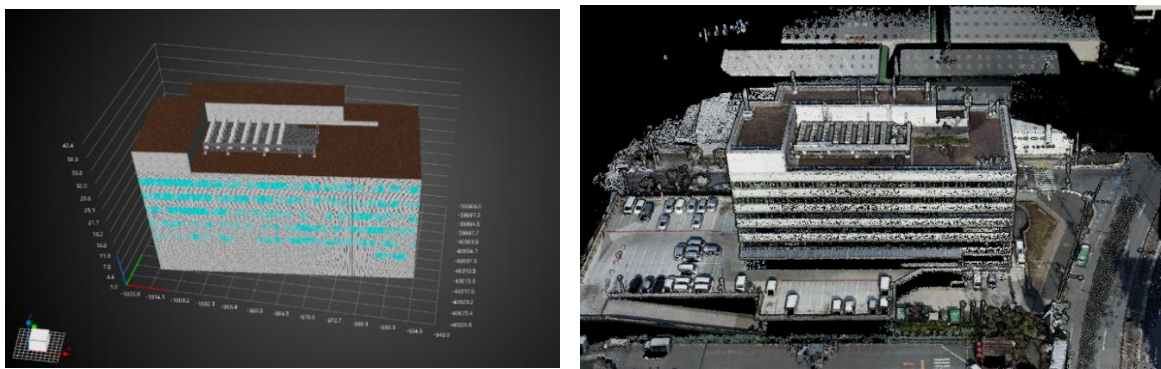


図 111 3D データ(左)と現地取得した点群データ(右)

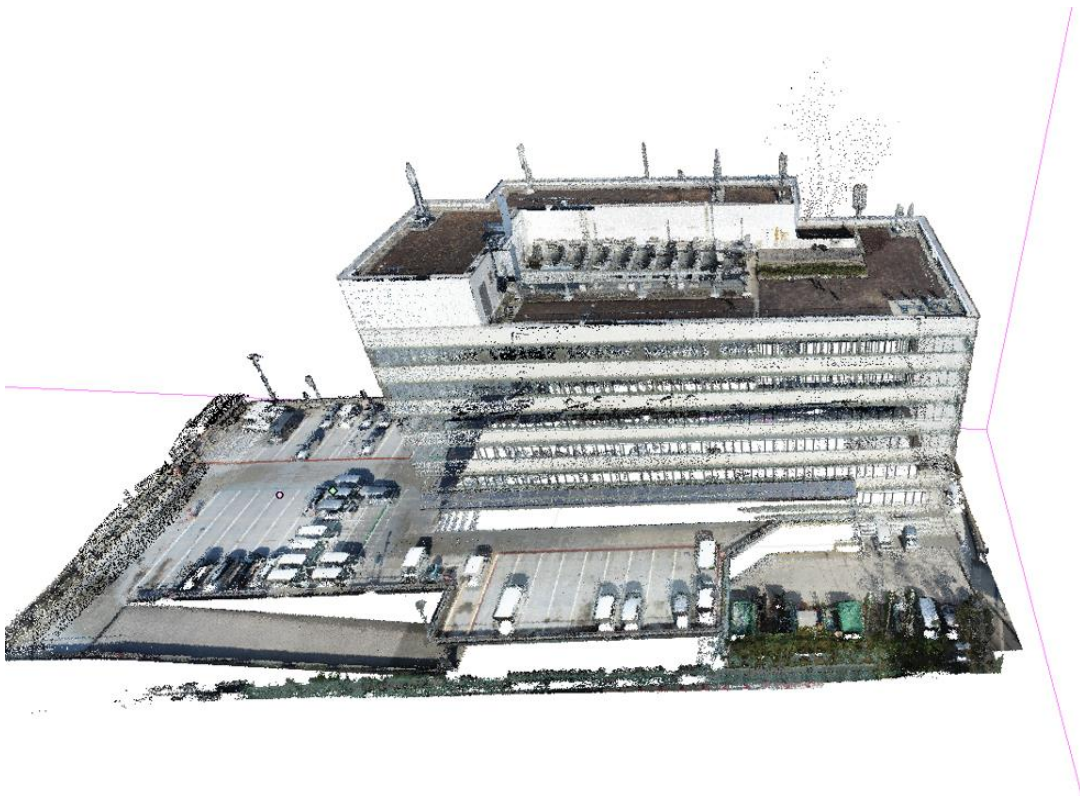


図 112 3D データと現地取得した点群データを重ね合わせた図

設計図面から作成した 3D データと現地の建物から取得した点群データを TREND-CORE 上で重ね合わせ、図 113 の様に建物に対して水平な断面を作成し建物の角と点群の角のずれがどのくらいあるのかを TREND POINT 上で確認を行った。

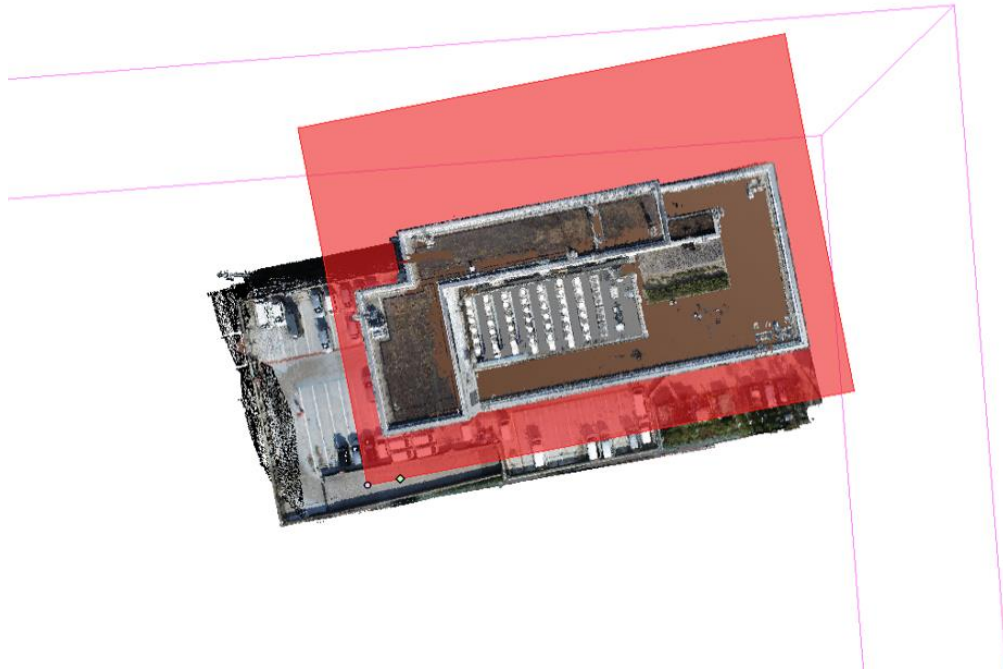


図 113 断面を作成した位置の図

以下に示した様に、建物に対する平断面図を作成した。建物の各角に対して、3D データの角と点群との距離の計測を行った。

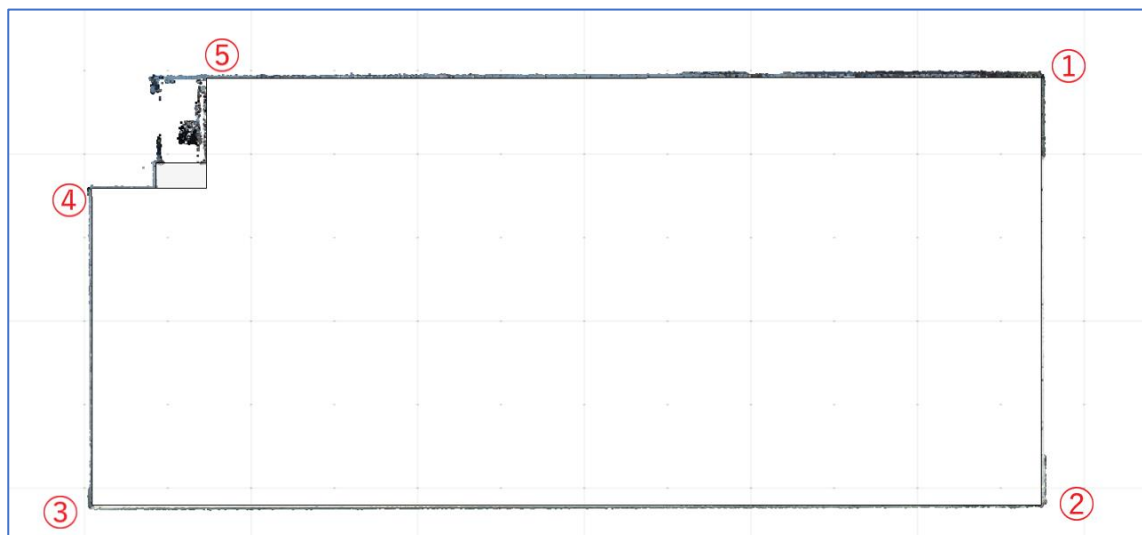


図 114 建物に対する平断面図

3D データと現地点群の状況を拡大したものを、図 115～図 124 に示す。

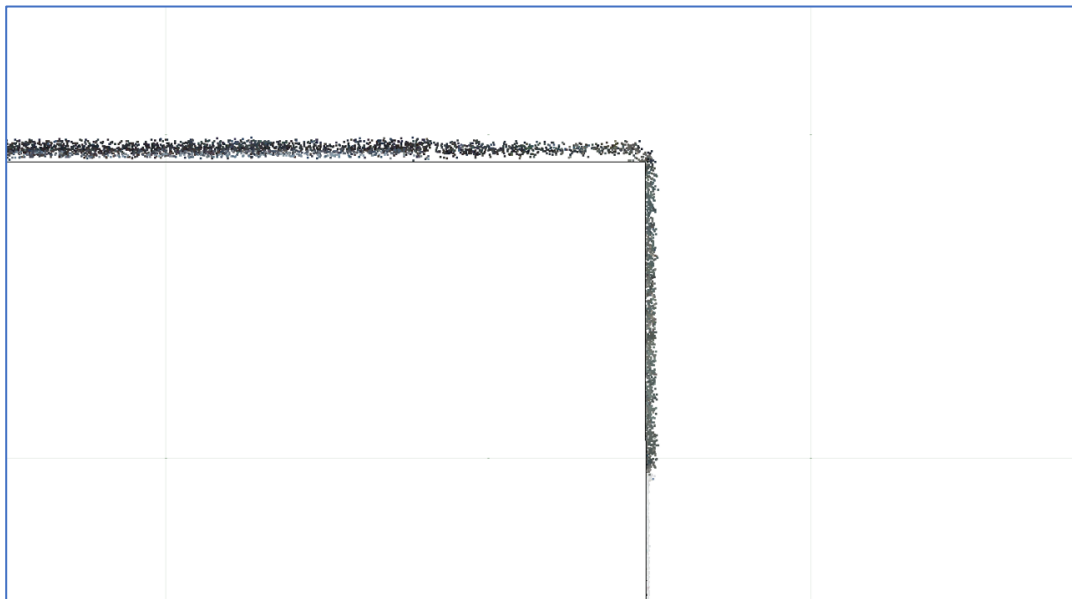


図 115 ①の拡大図



図 116 ①の 3D データの角と最も近い点との距離を計測した図

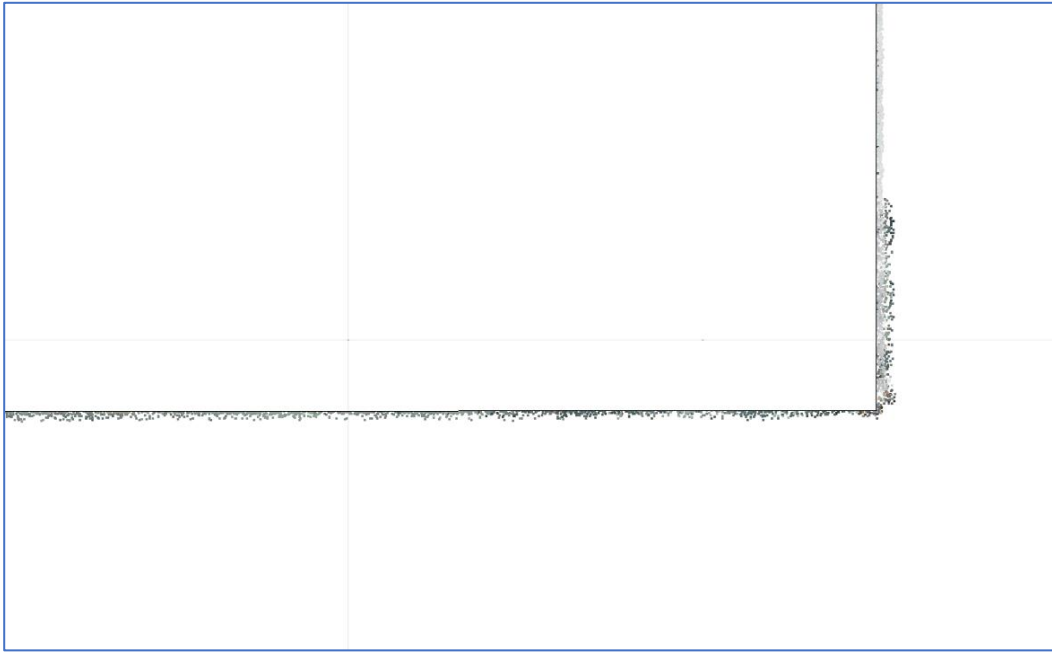


図 117 ②の拡大図

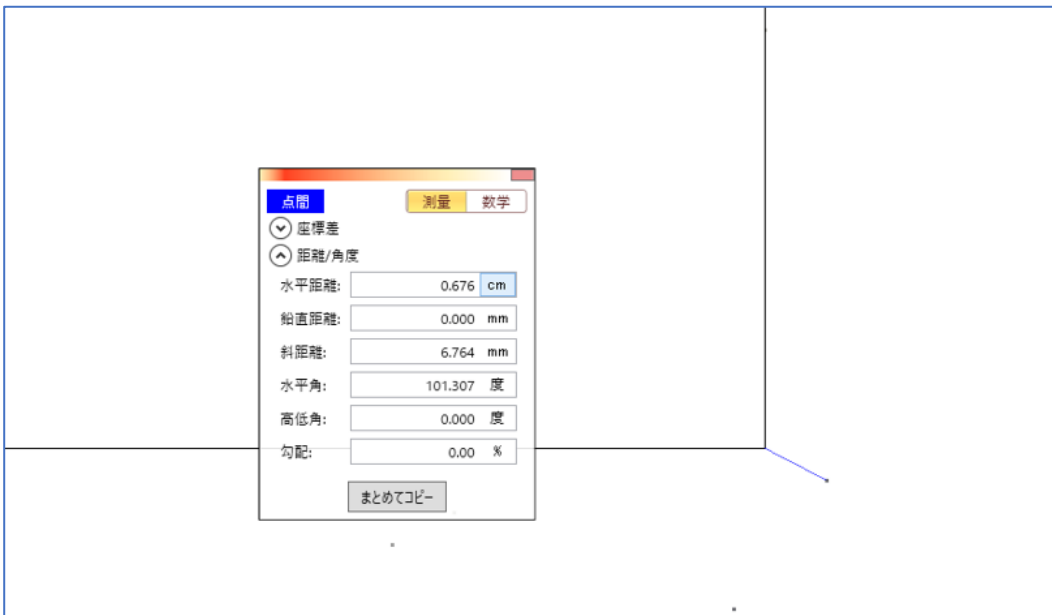


図 118 ②の 3D データの角と最も近い点との距離を計測した図

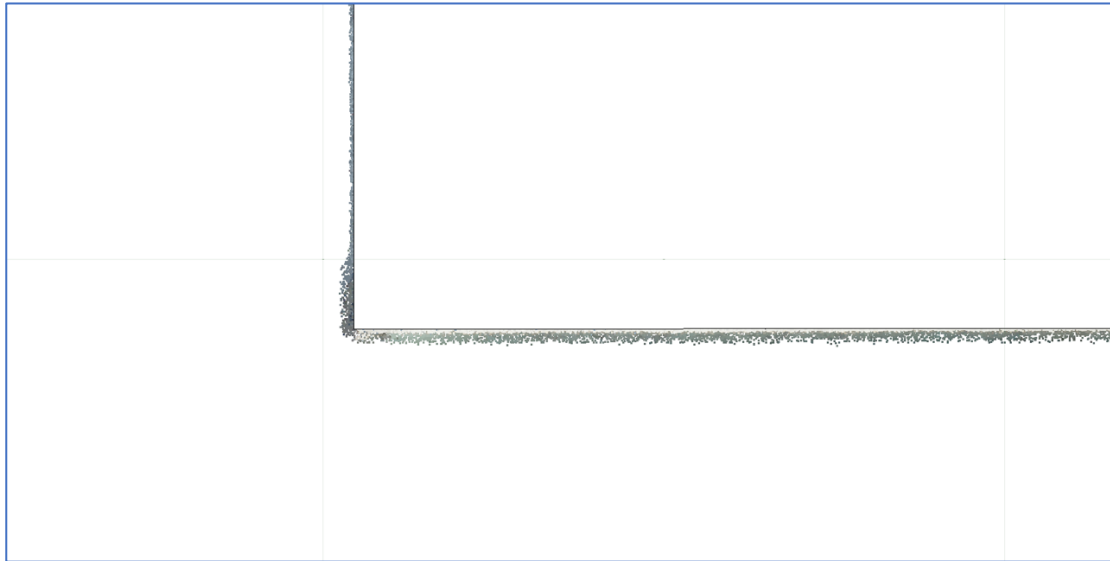


図 119 ③の拡大図

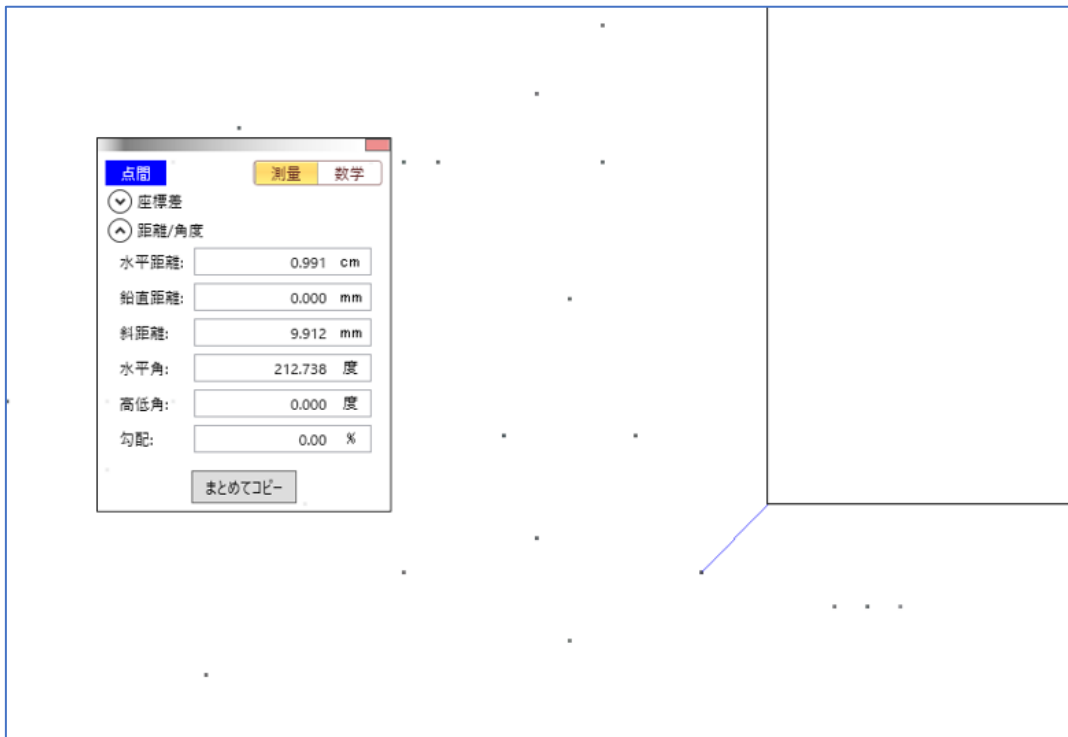


図 120 ③の 3D データの角と最も近い点との距離を計測した図

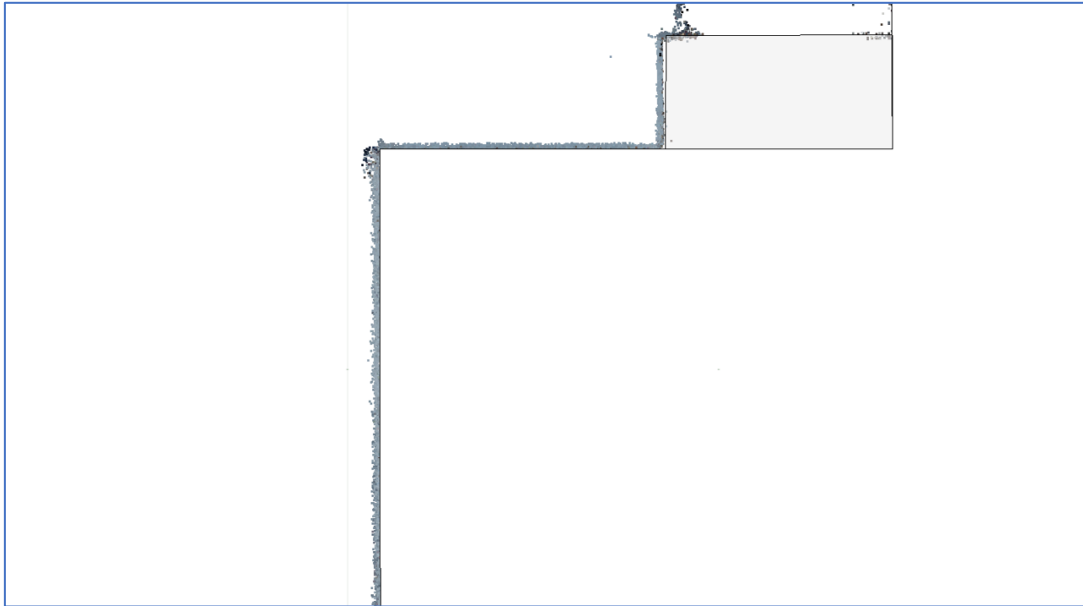


図 121 ④の拡大図

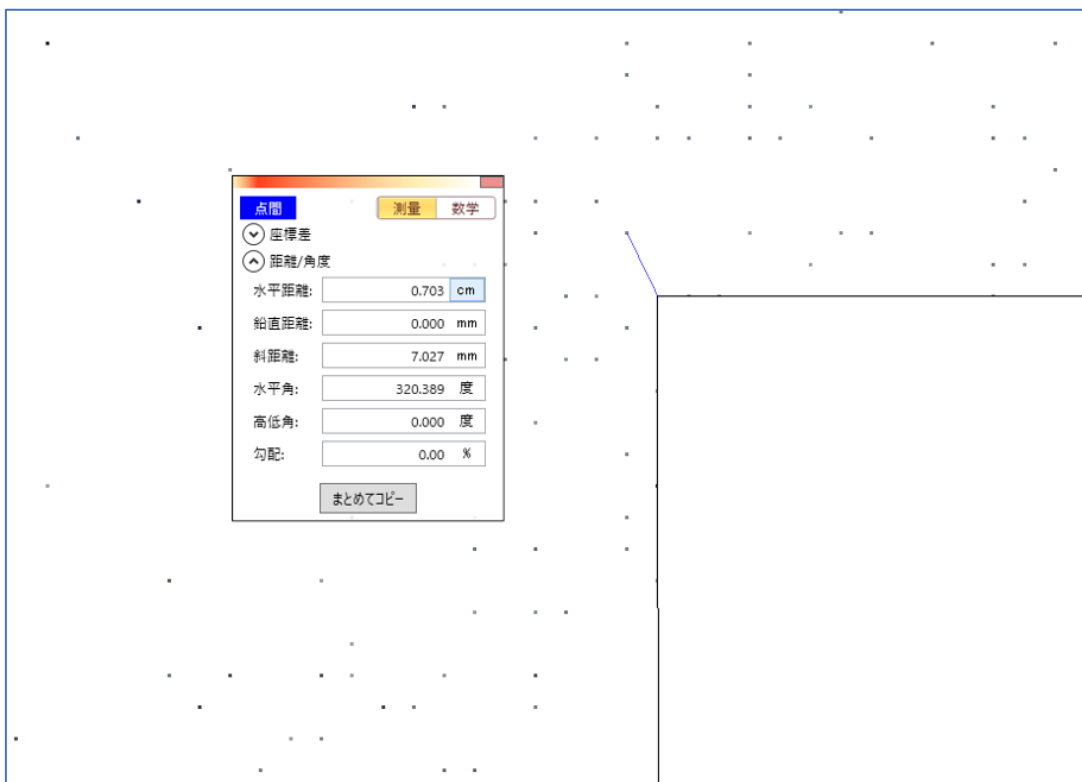


図 122 ④の 3D データの角と最も近い点との距離を計測した図

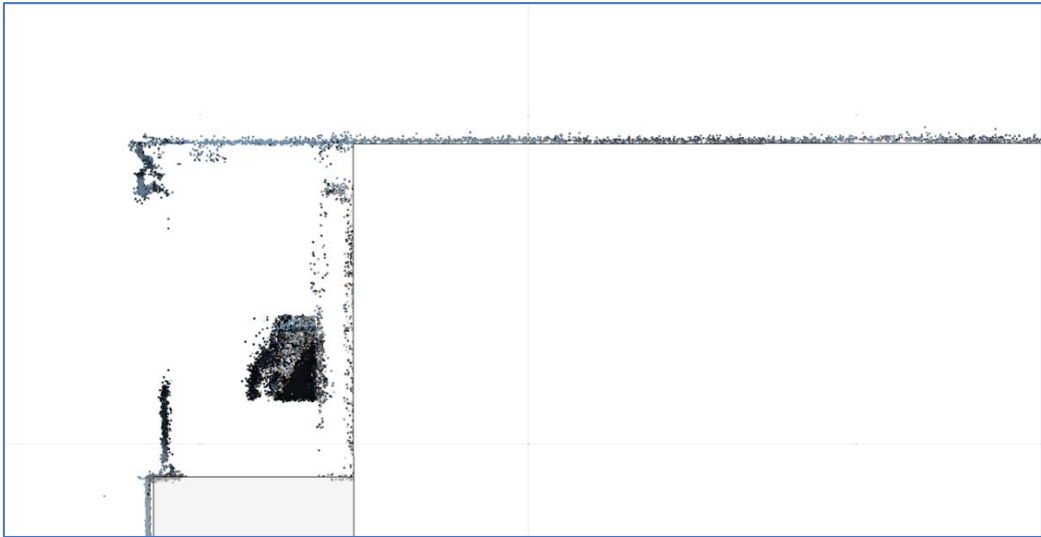


図 123 ⑤の拡大図

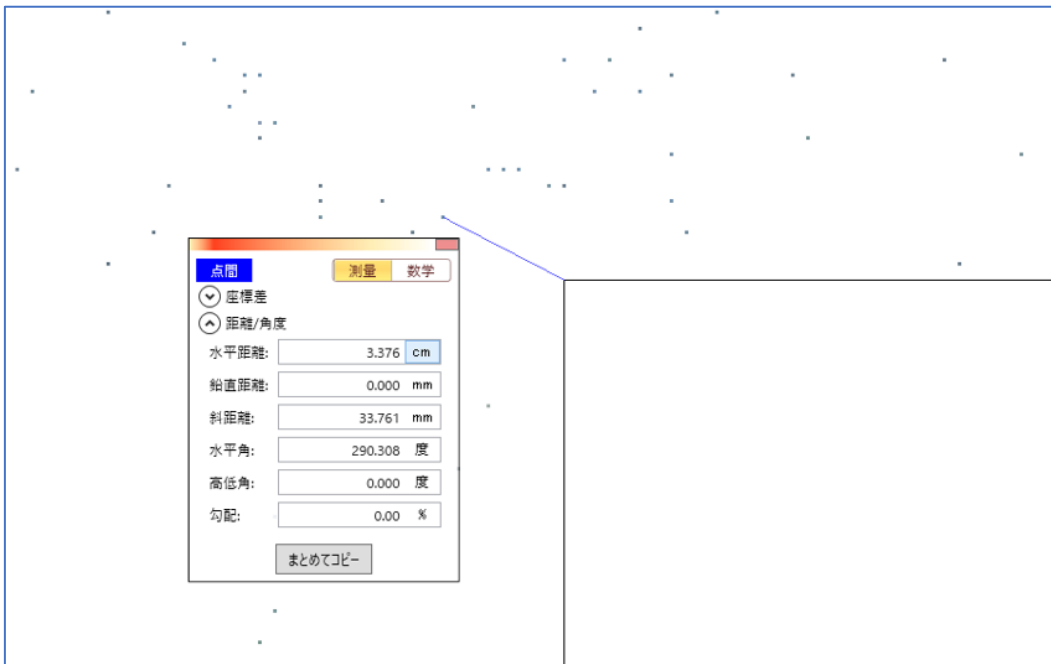


図 124 ⑤の 3D データの角と最も近い点との距離を計測した図

建物の角で 3D データと点群を計測した際の計測結果として、以下に示す。

表 101 3D データと点群との距離測定結果 (単位 cm)

	①	②	③	④	⑤
最短点	3.102	0.676	0.991	0.703	2.844
その他①	5.711	2.661	2.680	1.427	3.067
その他②	7.907	4.515	5.798	1.909	3.376
その他③	12.351	6.285	11.408	3.054	3.496
最遠点	19.370	10.176	15.589	3.307	4.874
平均	9.688	4.862	7.293	7.235	3.531

PC 上で目視にて比較した結果、点群のばらつきで誤差はあるが、かけ離れたモデルではないことの確認をすることができた。ソフトウェア上で、最短点と最大点の距離測定を確認することができたので、参考値としてばらつきの点群を測定すると、上記のような計測結果となった。あくまで設計データと取得点群からの算出となるので、参考値として確認を行った。

本実証から、建物の竣工時などに屋上から地上までの点群を取得しておくことで、地震等による地盤沈下や建物の傾きなどが早期に発見できる可能性を検証した。建物の劣化点検での活用になるが、建物の竣工時や設計時と現地に出来上がった構造物の位置が正確かどうかを確認するデータとしても活用できる。

年に一回、あるいは数年ごとに 3D データ化し比較することが可能となる。

- b) 建物に疑似的に変状を発生させてドローンから取得したデータでどこまで判断できるのか確認
建物にコンパネ等の板材を貼り付けた場合と、何も設置しない場合にて、ドローンで点群を計測し板材の検出が可能かどうかを実証した。

手順としては、まず、建物に何も貼り付けていない状態でドローンを飛行させ点群を取得した。その後、建物に厚さの違うコンパネ等の板材を何種類か貼り付け、疑似的に変状を発生させて再度点群を取得した。DJI terra で処理をし、点群データを作成し、1 回目と 2 回目のデータを比較し差分を抽出した。板材の厚さは 12 mm、5 mm の 2 パターンとし、飛行方法、点群構築パラメーターは表 100 構築パラメーターと同様とした。

変状のコンパネ等の設置状況については、図 125 に示す。



図 125 壁面に板材を張りつけた状態(左：コンパネ 12 mm、右：ベニヤ板：5 mm)

データ取得後、以下の 3 つの機能で実施した。

【機能 1】

何も貼らなかった場合の点群を基面として、板材を貼り付けた点群を、TREND-POINT の土量計機能を使用し比較を行い、板材が抽出できるのかの実証を行った。土量計機能は、盛土や切土の量を算出する機能であり、基面に対して比較対象がどの位上下しているのが可視化できる機能である。この実証に土量計機能を使用した理由は、図 126 のように基面と比較対象の点群の差分が抽出できれば板材の形が浮き上がってくるのではないかと考えたからである。

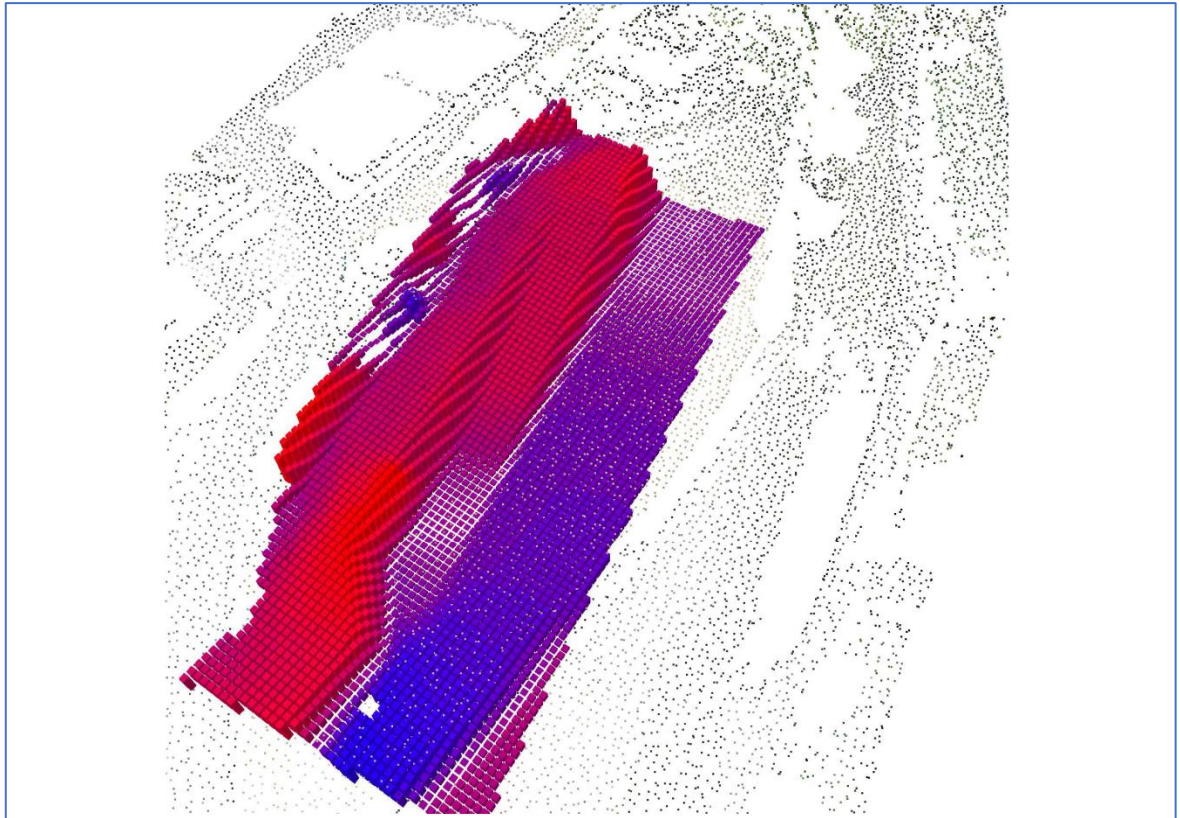


図 126 土量計算機能を使用し現況の点群を基面として設計と比較した参考図

TREND-POINT の土量計算機能にて、以下で示した板材を貼り付けた位置に範囲を指定し計算を行った。

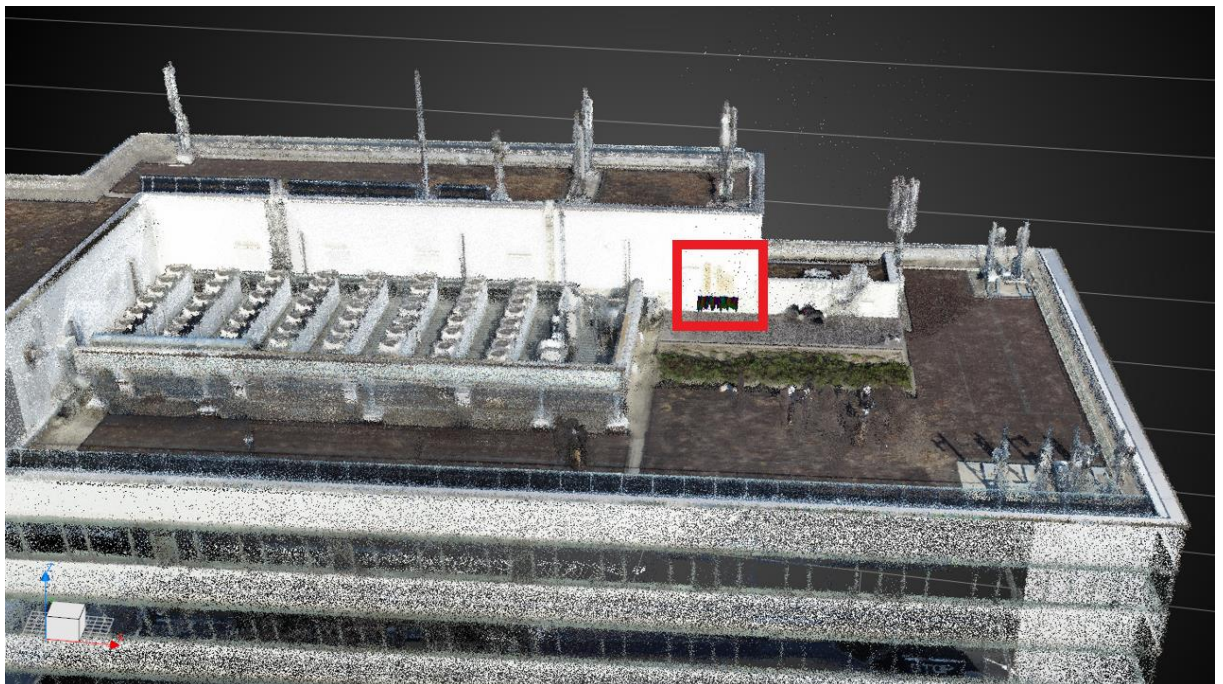


図 127 土量計算を行った場所を示した図

以下 2 種類の図について、点群データ同士の比較状態を示す。

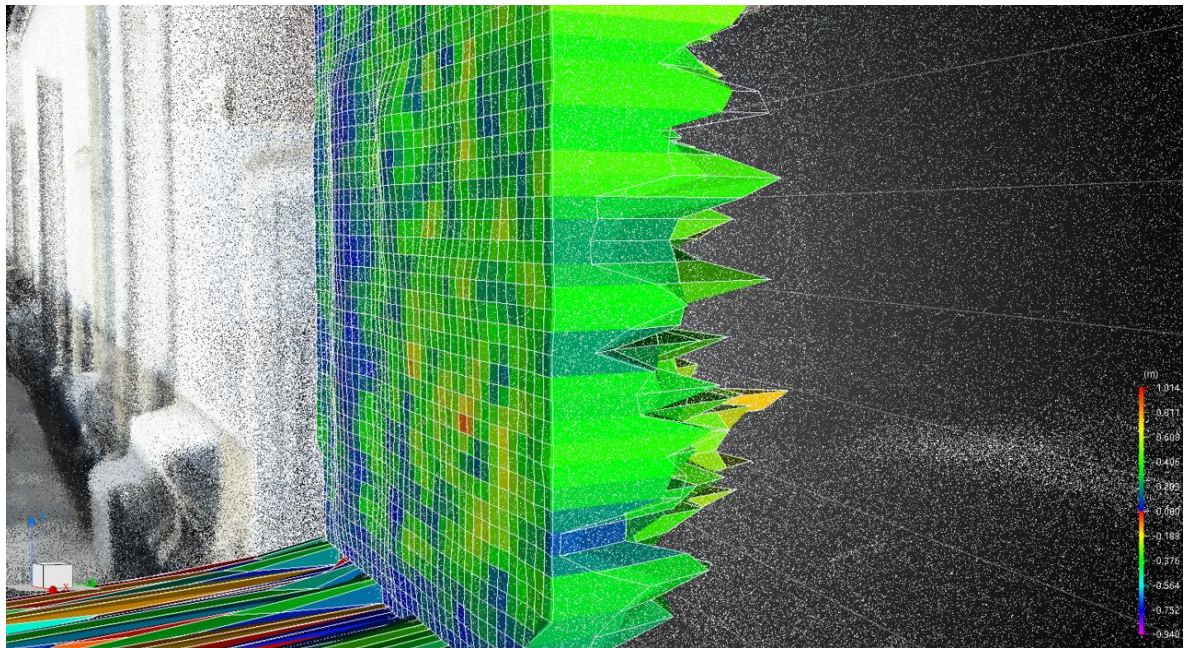


図 128 板材を貼り付けた箇所を右から見た図

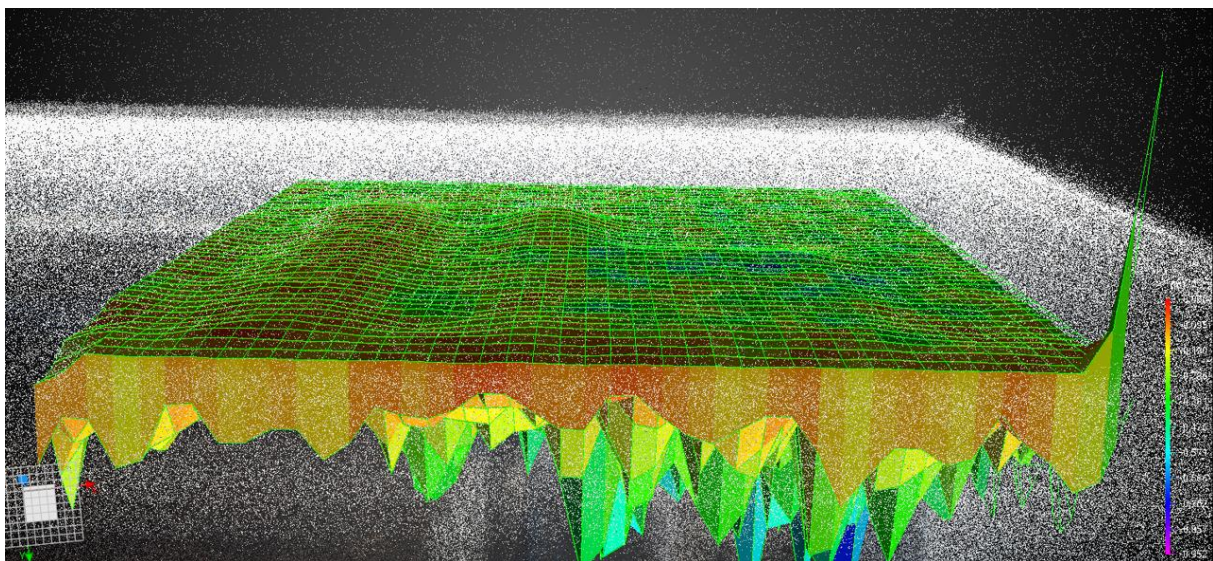


図 129 板材を貼り付けた箇所を下から見た図

この結果から、多少起伏はあるものの厚みまでは分からず、変状を目視で検出するのは難しい事が分かった。考えられる理由としては、点群のばらつきにより基面と比較したデータの差異が小さすぎるため検出するのが困難になったと考えられる。

【機能 2】

板材を貼り付けた位置の点群データを断面で確認することで、板材の厚みが確認できるかの実証を行った。この方法では板材を貼り付けた位置を水平にカットし、上からの視点で観察することで周りの壁と板材の厚みの差を抽出できるのではないかと考えたからである。図 130 は板材を貼った位置の点群データを水平にカットした画面のキャプチャである。

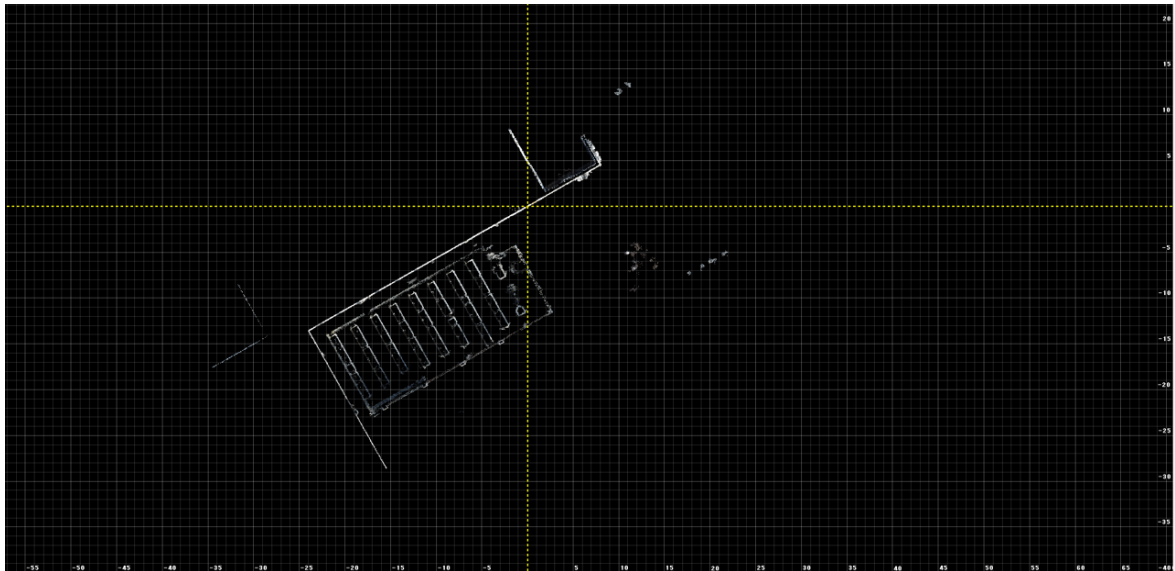


図 130 板材を貼り付けた位置の点群データを水平にカットした画面のキャプチャ

図 131 の赤い四角で囲んだ部分が板材を貼り付けた位置である。拡大したものが図 132 である。

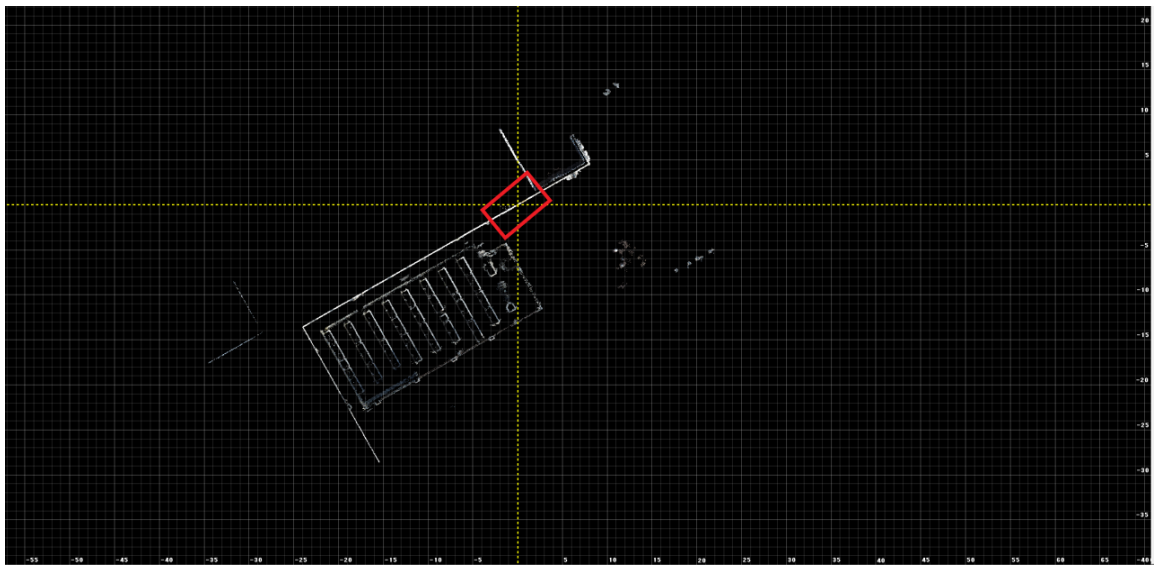


図 131 板材を貼り付けた位置を赤い四角で囲んだ画像

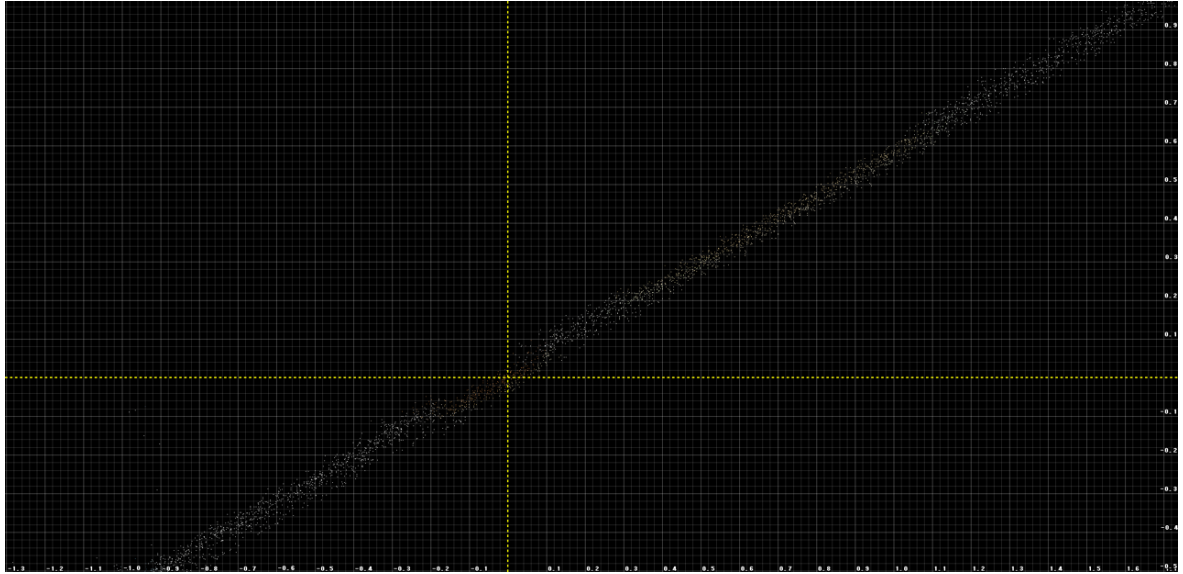


図 132 赤い四角の部分拡大した画像

拡大して観察した結果、図 133 で囲んだ部分の点群に色がついているため板材らしき物は確認できたが、厚みや位置を正確に割り出すのは困難である。

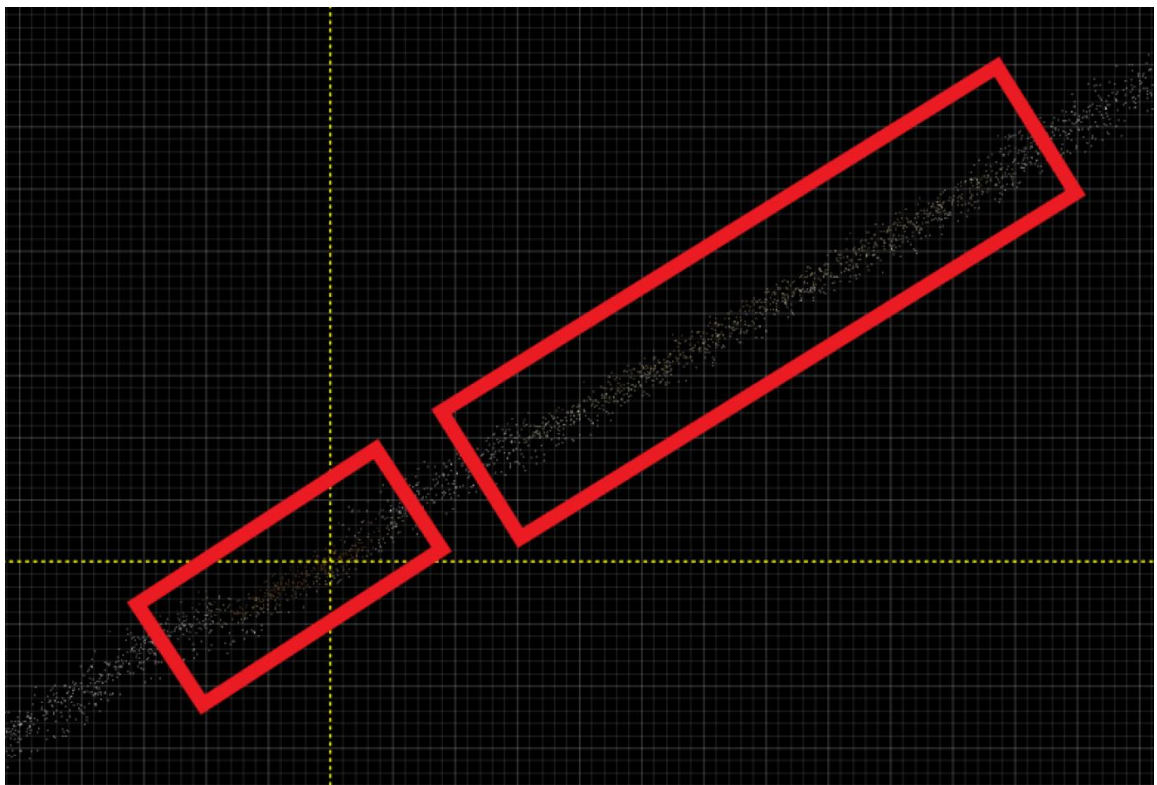


図 133 板材らしき物が確認できる箇所の画面キャプチャ

よって、点群から目視のみで変状を検出するのは困難であることが分かった。

【機能 3】

TREND-POINT の凹凸計測機能で解析を行った。この機能は点群の凹凸を検出し可視化する機能となり、板材が検出できるのか実証を行った。検出を行ったのは土量計算の時と同様に板材を貼り付けた位置に絞って解析を行った。解析を行った位置図については図 134、解析結果については図 135～図 136 に示す。



図 134 凹凸計測機能で解析を行った位置図

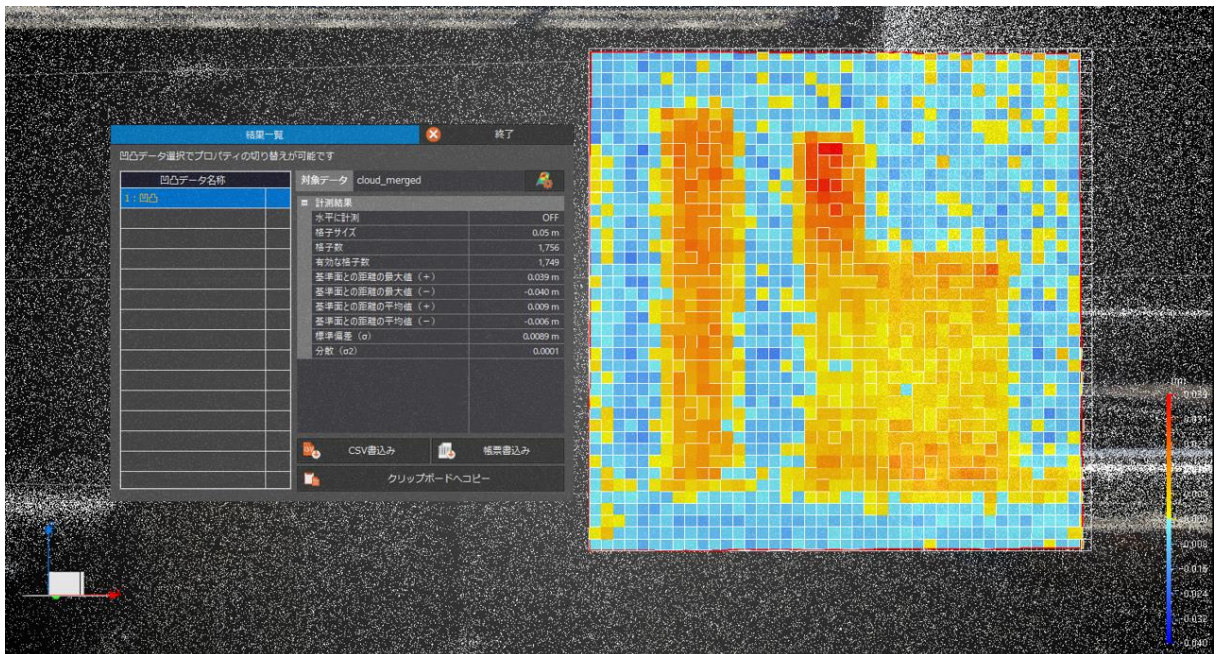


図 135 凹凸計測機能で解析を行った結果

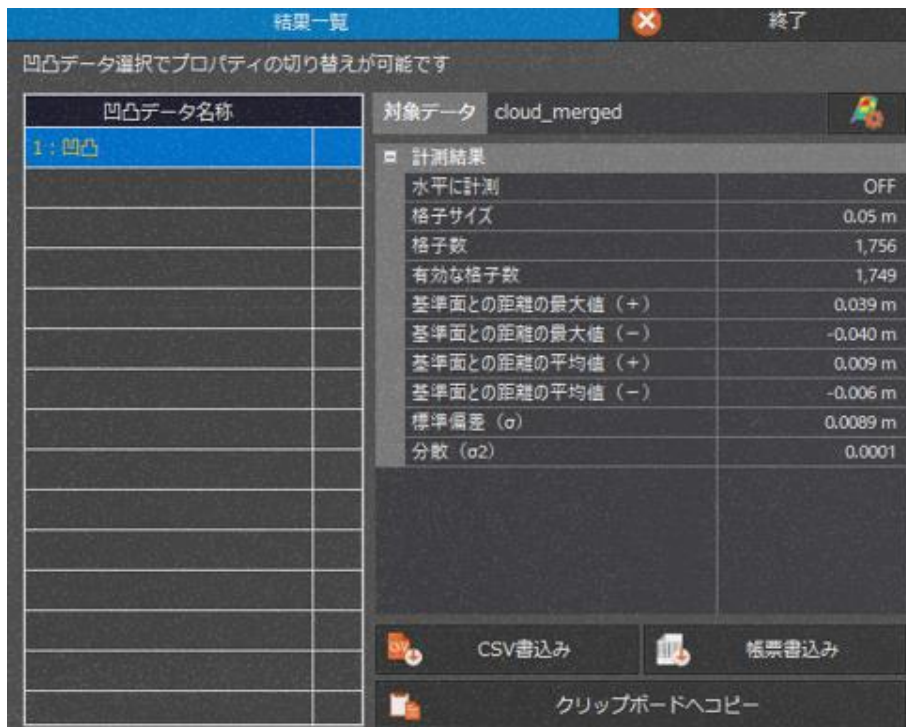


図 136 凹凸計測機能で解析を行った結果（拡大）

上記の方法では、コンパネの形状、厚みを色合いにて検出することが出来た。水色のタイルを基準(±0)として左側のコンパネが約 16 mm～23 mm、右側のベニヤ板が約 8 mm～16 mm として検出された。板を壁に貼り付ける際に養生テープを使用したか、右側のベニヤ板の上と下の部分が少し浮いてしまった（図 137 参照）。その部分の浮き上がりも、凹凸計測機能で見るとタイルが赤とオレンジになっており、浮きが大きいのが分かる。実証結果から、災害等の外圧等による壁のふくらみや変状について、点群データから検出ができる可能性があると考えられる。



図 137 ベニヤ板の設置状況

c) 外壁調査用写真から作成した 3D データから経年劣化や損傷を目視で判別できるか確認

① ドローンにより取得した外壁調査用写真から 3D データを作成

建物を撮影した画像データ（約 4,800 枚）から、DJI Terra を使用し下記構築パラメーターで 3D データを作成し、特定建築物調査員の発見した破損・損傷個所を 3D データ上で確認できるかどうかの実証を行った。撮影情報及び構築するときの設定を以下に示す。

図 138 撮影情報及び 3D データの構築パラメーター（SfM 処理の設定）

【撮影情報】	
操作	マニュアルモード
カメラ	1/2 インチ CMOS、有効画素数：48 MP
速度	約 0.5m/S 程度
カメラジンバル角度	0 度
ラップ率	OL：30%、SL：10%
【3D データ作成の構築パラメーター】	
マッピングシーン	標準
解像度	高
計算方式	スタンドアローン型計算
水平データム設定	JGD2011/Japan Plane Rectangular CS IX
ジオイド設定	JGD2011(vertical)height

構築パラメーターにて作成した 3D データについて、以下に示す。

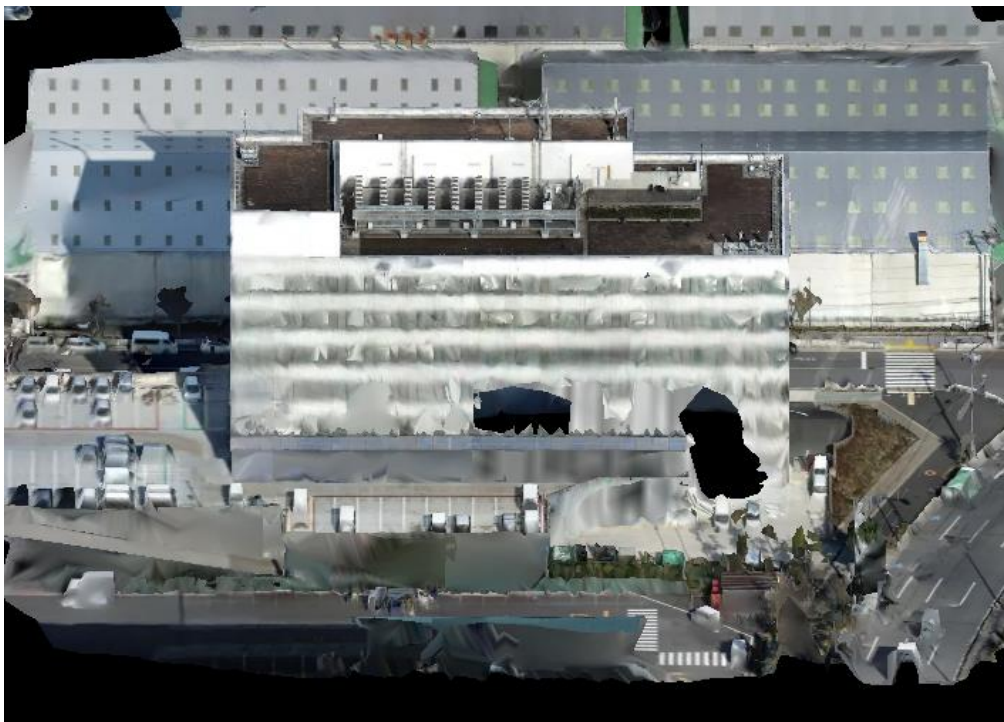


図 139 写真から構築した 3D データ


部位	番号	調査項目	調査結果
		12	西面外壁
		特記事項	
		シーリング劣化	

図 142 特定建築物調査員の発見した破損・損傷箇所②

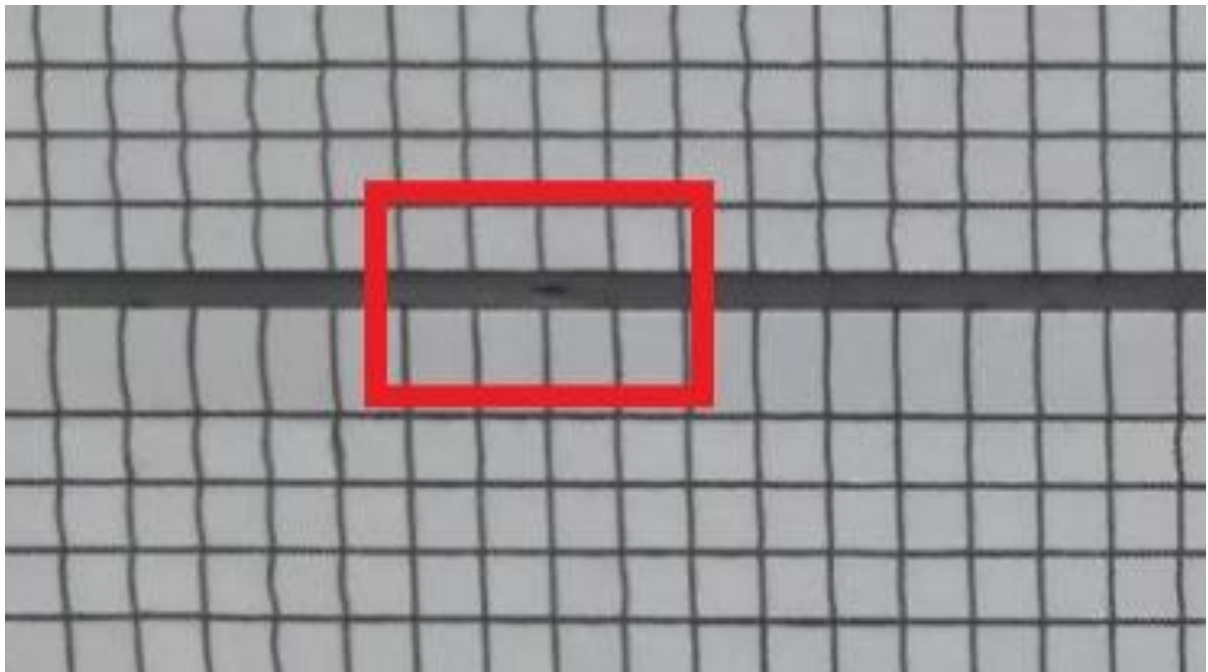


図 143 同じ場所を 3D データで確認した図②

シーリング劣化が下図の 3D データから多少確認できるが、3D データのみで判断は困難といえる。


部位	番号	調査項目	調査結果
		16	西面外壁
		特記事項	
		タイル破損	

図 144 特定建築物調査員の発見した破損・損傷箇所③

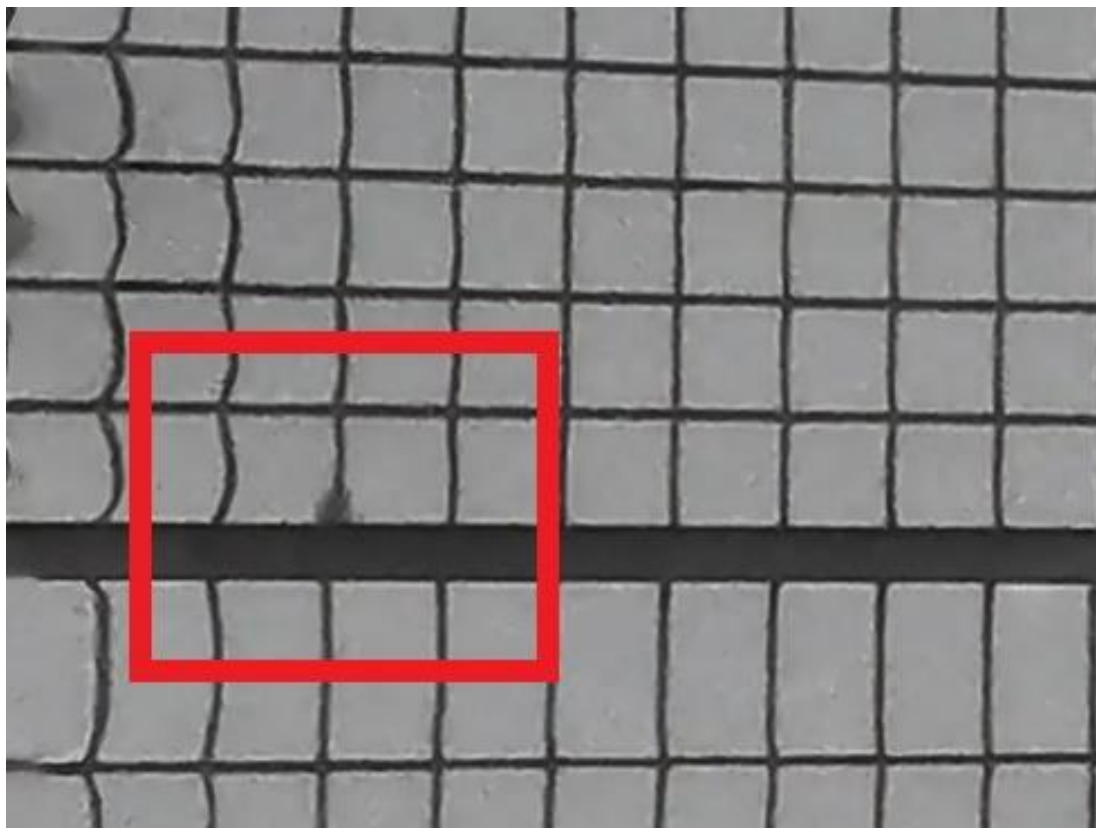


図 145 特定建築物調査員の発見した破損・損傷箇所③

タイル破損が下図の 3D データから確認できるが、3D データのみで判断は困難といえる。

今回、係留装置及びドローンによって撮影した画像を使用し 3D データの構築を行ったが、ソフトウェアにて生成する上で、以下のような不具合の事象が確認された。

- (1)壁面の構築の不具合
- (2)ガラス面の構築の不具合
- (3)タイル面のノイズやひずみの発生

現在の最新機体でのカメラ性能及び安全を考慮した飛行で現場稼働を少なく撮影した画像データを用いた場合、現状では 3D データの品質で点検実施可能といえるまでの品質にはならなかった。不具合にて歪みが生じた 3D データからは、タイルの破損等はいくつか確認できる可能性もあるが、特にシーリング劣化やクラックの細かい損傷個所は 3D データから判断するには困難であった。不具合の改善、クラックなどの細かい損傷を特定するためには、より高解像度の写真、ラップ率の増加、遠方での撮影が必要になると言える。機体性能が向上すれば、今後改良される可能性もある。

なお、3D データから外壁の損傷を検出するメリットとしては、損傷個所の位置情報を取得することが出来るため修繕した後に比較が容易にできる事にあると考える。損傷個所の位置情報については、以下に示す。



図 150 損傷個所の位置情報

d) 本実証における 3D 点群処理の作業工程と所要時間

今回実証を行った 3D 点群処理に伴う作業工程と所要時間について、以下に示す。

表 102 作業工程と所要時間

	実施内容	使用ソフト	工程	所要時間
現地での作業	ドローン撮影		機材の準備	45 分
			撮影	20 分
			片付け、撤収	30 分
事務所での作業	点群作成	DJI Terra	構築パラメーター設定	10 分
			点群データ作成	1 時間
	図面から 3D モデル作成	TREND-CORE	図面の読込	5 分
			配置高の計算	1 時間
			1F～屋上部のモデリング	3 時間
			建屋部のモデリング	4 時間
			室外機や窓のモデリング	4 時間
	外壁診断のための 3D データ作成	DJI Terra	写真の取込	5 分
			構築パラメーター設定	10 分
			3D データ作成	27 時間 30 分
	変状の確認	TREND-POINT	点群の読込	5 分
			3D データの読込	5 分
			位置関係の実証の為に断面作成	5 分
			各角の距離測定	25 分
			実証 1	30 分
実証 2			30 分	
実証 3			30 分	
(実証 3 を建物全体で行った場合)			(5 時間)	
外壁の劣化調査	DJI Terra	特定建築物調査員の発見した破損・損傷個所の確認	20 分	
		3D データ上での破損・損傷個所の確認	2 時間	
		報告書の作成	1 時間	

(2) まとめ

実証方法 a.

設計図面から作成した 3D データと現場で取得した点群データから作成した現状の建物の 3D 点群データとのデータ比較

PC 上で目視にて比較した結果、点群のばらつきで誤差はあるが、かけ離れたモデルではないことを確認することができた。ソフトウェア上で、最短点と最大点の距離などを確認することができたので、参考値として確認を行った。ばらつきによる誤差はあるかと思われるが甚大な変化はなく、変状について早期発見に繋がる可能性もある。簡易での点群取得にて、定期的にデータの取得を行い蓄積していくことで、変状や傾きが発生した場合の早期発見が可能になり修繕費用を最小に抑え、倒壊などの甚大な事故の予防にも繋がる。

実証方法 b.

建物に疑似的に変状を発生させてドローンから取得したデータでどの程度判断できるかの確認

TREND-POINT の凹凸計測機能で厚さ数 mm～12mm 程度の変状を検出できる可能性を検証した。建物の点検において、3D データを活用する利点としては、図 135 の均一な壁面であった場合に目視で検出できない凹凸や、図 150 の位置関係把握が PC 画面、アプリケーション上でできることにあると考える。また、損傷個所の修繕や建替えをした際に、元の状態との比較も容易に可能となる。

実証方法 c.

構築した 3D データにて、経年劣化や損傷を PC 画面上で判別できるか確認

係留装置を用いたドローンの安全飛行にて取得したデータより構築した 3D データの品質で、経年劣化や損傷を PC 画面上で判別できるか確認したが、モデルの生成における不具合を含め 3D データ単独で経年劣化や損傷を見つけることは困難であった。一部パネルの欠けなどは、対比の写真を見ることで判断は可能となるが、3D データ単独での点検は現状では厳しいかと思われる。今後、技術革新が進み、点検を実施するドローンにより高解像度のカメラが搭載されるなどして性能が向上し、社会一般にドローンが普及し、飛行に関する規制緩和により飛行方法が変更することなどによって、品質向上が図られることで、点検実施できる可能性を検証した。

デメリットとしては 3D データの作成に膨大な時間がかかってしまう点と、データの容量が大きくなってしまふことにあると考える。また、撮影した画像から 3D データの構築をする際に、高品質の状態でもモデル化をさせようとすると、撮影する機材の一定以上の撮影のラップ率が必要となることや、材質の関係により対象撮影物との離隔距離をとり複数回の撮影を行う必要があることなど、現場などでの稼働・工数が多くかかってしまうことである。そのため、建物の大きさや周辺環境によって従来の方法と使い分ける必要がある。ただ、地震や災害が多い日本において建物や土地の 3D データを残すことは、復旧作業や救助において大きな役割を果たし、かかる工数以上の価値があると考えられる。

現状、安全性を担保して飛行させたドローンにより取得した画像データから構築した 3D データでは、単独での建物点検は困難という結果となった。将来的には、有資格者の高齢化や専門職の人材の減少により、人材不足が見込まれているなかで、デジタル技術を活用する高精度な装置や技術が進歩し現場を撮影できることで、作業員の現場での見落としの防止や、効率化

及び安全性、精度を担保できれば熟練者の代わりとなることで人材不足解消に役立てていけるのではないかと考える。

3.2.4 AI 解析（実施項目④）

(1) 現状建物よりドローン飛行にて写真データを取得

新木場ビルでドローンにて写真データ取得を行った。撮影を実施した機体については、表 6 比較機体一覧の B 機体を使用した。安全を使用する係留装置は、1 点係留装置は、ミヤ・リードロン（ミヤ製）、2 点係留装置はラインドローンシステム（西武建設製）とした。諸元等は省略する。また、飛行エリアについては、図 151。作業実施状況については、図 152 に示す。

【フライト内容】

操作：マニュアルモード

速度：約 1.0m/S 以下、上昇下降にて実施

カメラ角度：0°

撮影範囲：ミライト・ワン新木場ビル、離隔約 4～5 m

係留装置：1・2 点係留使用

撮影内容：①静止画撮影_広角カメラ（タイムラプス 1s）機体角度 0°

②静止画撮影_望遠カメラ（タイムラプス 1s）機体角度 0°（一部）

③静止画撮影_広角カメラ（タイムラプス 1s）機体角度 30°（一部）

④静止画撮影_広角カメラ（タイムラプス 1s）機体角度-30°（一部）

⑤動画撮影（4K_30FPS）機体角度 0°（一部）

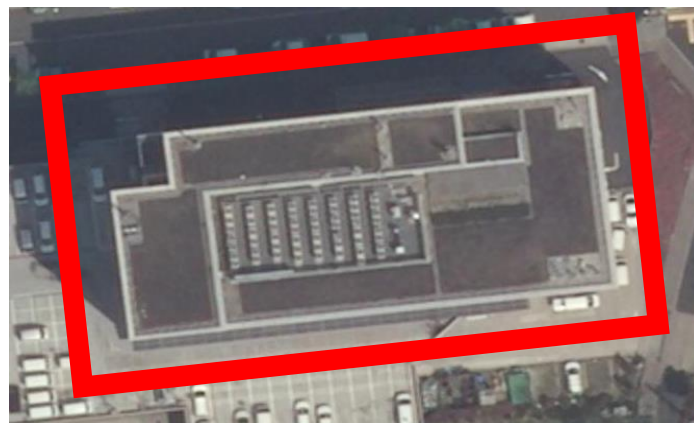


図 151 飛行エリア図

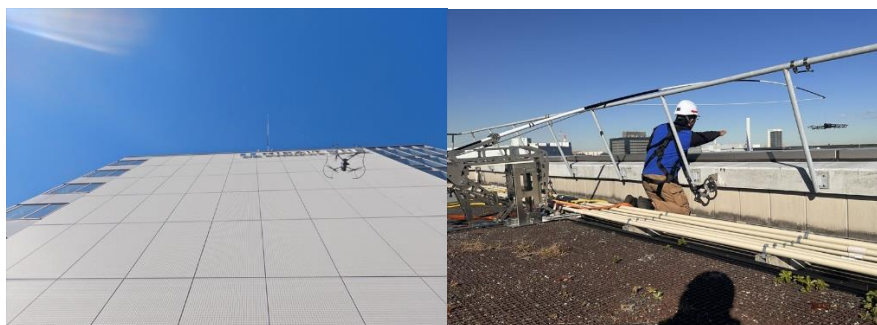


図 152 作業実施状況 ドローン飛行前状況(左) 屋上部状況(右)

(2) 基本実証

(ア) 画像データ仕分け結果

実証場所のミライト・ワン 新木場ビルでドローンによって撮影して取得した画像データを仕分けした結果を表 103 に示す。特定異常全 40 か所の内、18 か所の特定異常が対象データ内に含まれており、異常データ（特定異常）として得られた。ここで、AI 解析対象外とした残りの 22 か所の特定異常箇所は、図 153 に示すように視認不可であるか、撮影範囲外であるか、適用範囲外であった。特にタイル面の細かいひび割れ（タイルクラック）に関しては画像データの目視によって確認することはできなかつたため、タイル面のひび割れについては今回の撮影条件（2.1.5“(4)”に記載）では発見できない異常であることが本仕分け作業によって判明した。

なお、異常データ数（特定異常）は AI 解析対象とした特定異常箇所が移された画像データの数を示しているが、撮影範囲の重なりや広範囲にわたる異常が複数の画像データに移っている場合があるため、AI 解析対象とした特定異常箇所数と同数またはそれよりも大きい値を示している。

表 103 画像データ仕分け結果

項目	東面 3.6m	東面 4m	東面 5m	西面	北面	南面
元画像の枚数	10	32	12	68	61	96
特定異常箇所数	2	2	0	15	18	3
AI 解析対象とした 特定異常箇所数	1	2	0	8	6	1
全画像データ数	9,100	29,120	10,920	55,510	61,880	87,360
正常データ数	7,704	22,179	8,499	42,039	38,759	29,956
異常データ数 (特定異常)	1	14	0	10	8	1
異常データ数（全 体）	31	70	77	89	78	368

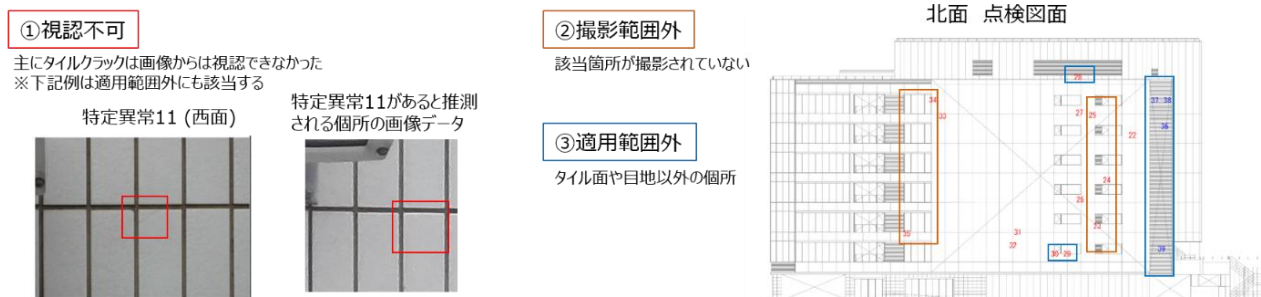


図 153 AI 解析対象外とした異常箇所

(イ) 解析結果

AI 解析の結果と考察を本項において以下構成にて示す。

a) AI 解析結果

解析結果のヒストグラム、検出率及びスクリーニング率を基に、全体の結果を示す。

b) AI 解析結果画像

AI 解析の過程で取得した画像を示す。

c) 従来が目視点検との比較

a)の内容を基に、従来が目視点検と AI 解析の精度を比較

d) スクリーニングの評価

a)の内容を基に、目標値とスクリーニング率を比較

e) AI 解析に適した撮影条件

a), b)の内容を基に、AI 解析に適した撮影条件を明確化

f) 現状と課題

実用化に向けて、現状の評価と今後の課題点を考察

a) AI 解析結果

各面の画像データに対して AI 解析を実施した結果を表 104、図 154～図 157 に示す。なお、東面 5m には特定異常に該当する異常データがないため検出率（特定異常）は存在しない。

表 104 解析結果

項目		東面 3.6m	東面 4m	東面 5m	西面	北面	南面
学習データ数		64	64	64	64	64	66
95% 閾値	検出率 (特定異常)	1	1	-	0.900	1	1
	検出率 (全体)	1	0.857	0.961	0.910	0.705	0.848
	スクリーニング率	0.528	0.564	0.486	0.429	0.584	0.548
99% 閾値	検出率 (特定異常)	1	1	-	0.800	0.875	1
	検出率 (全体)	1	0.814	0.948	0.888	0.538	0.772
	スクリーニング率	0.699	0.722	0.648	0.582	0.752	0.714

① 解析結果ヒストグラム

図 154、図 155 の解析結果ヒストグラムより確認した結果を述べる。

学習データのヒストグラムを確認すると、図 154 と同様の形状が見られ、仮定の通り正規分布に従った形状が確認できた。一方で正常データのヒストグラムを確認すると、学習データに似た形状が確認できたものの、学習データより異常スコアが高い分布を示す結果となった。学習データと正常データの分布は同じであることが望ましく、学習データ選定に改善の余地があることが確認できた。

正常データと異常データの分離状態について確認すると、東面の対象データのヒストグラムからは正常データが左に、異常データが右に寄った分布をしていることが確認できた。一方で、南面、北面においては異常データが幅広く分布しており、正常データの分布の左側まで重なっていることが確認できた。

以上の結果より、正常データと異常データの分離が出来ている面とできていない面があることが確認できた。

② 検出率

図 154 より、検出率（特定異常）は西面のみ 0.9 となっていることを除けば全面 1 となっており、人による目視と同等の検出率であることが確認できた。

③ スクリーニング率

スクリーニング率は 0.429～0.584 といった結果が得られ、当初目標としていた 0.8 を大きく下回る結果となった。

④ 学習データ数

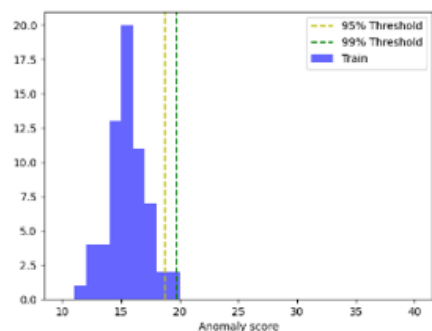
図 156、図 157 には、学習データの追加を繰り返す過程における検出率とスクリーニング率の変化、解析結果ヒストグラムの変化を示す。全体の傾向として、学習データ数が 1 から 10 または 19 に変化する過程で検出率の低下とスクリーニング率の向上が確認できる。解析結果ヒストグラムから、学習データ数が増加するにしたがって正常データの分布が左側（異常スコアの低い側）へと移動していく様子が確認できる。学習データ数が 28 以上から増加していく段階においては、変化の少ない面や、一時的にスクリーニングが減少する面など、結果が安定しない面があることが確認できた。

⑤ 閾値

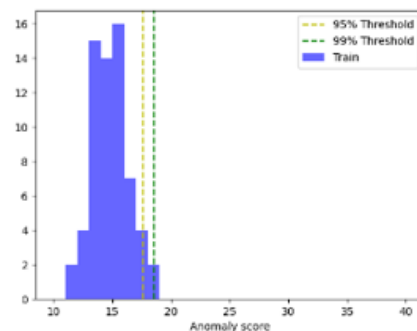
99%閾値を用いた結果からは、95%閾値を用いた結果と比較して、西面と北面における検出率（特定異常）が低下した一方で、スクリーニング率が 0.582～0.752 と向上しており、当初想定していた通りのトレードオフの関係が確認できた。ただし、99%閾値を採用した場合においてもスクリーニング率は 0.8 には満たない。

学習データの
解析結果ヒストグラム

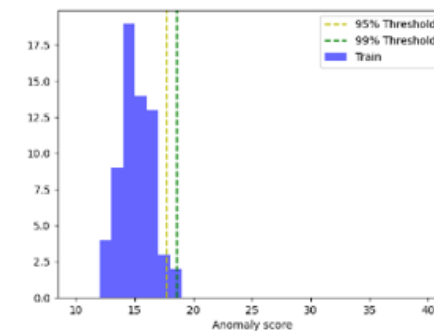
東面3.6m



東面4m



東面5m



対象データの
解析結果ヒストグラム

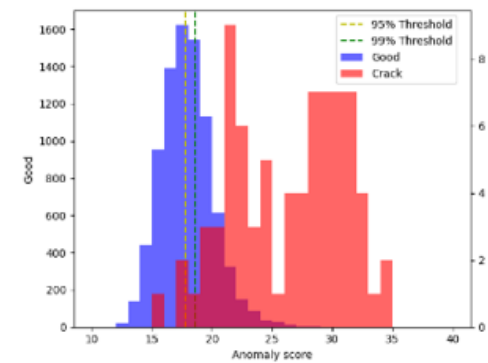
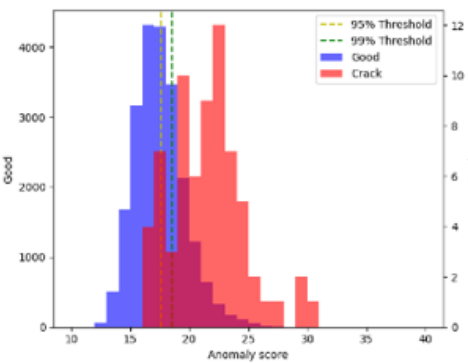
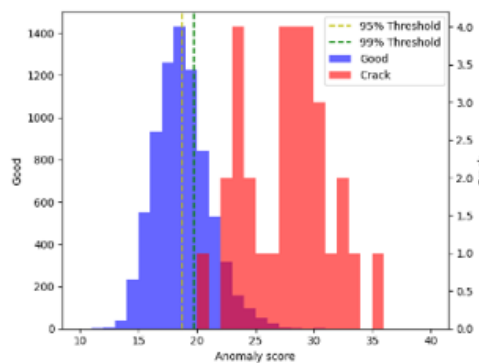
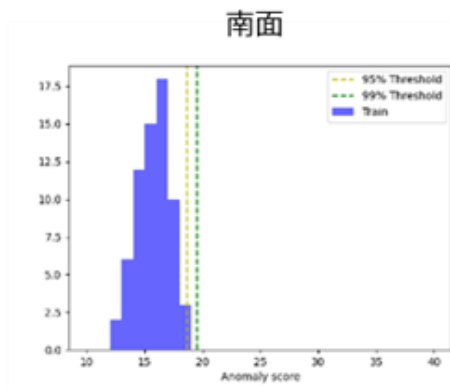
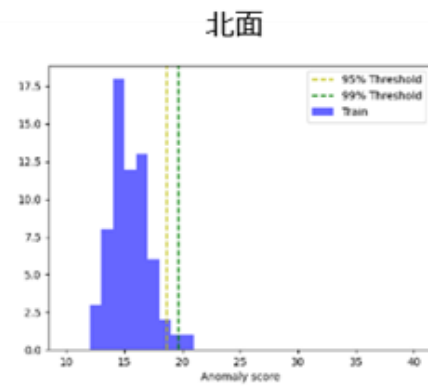
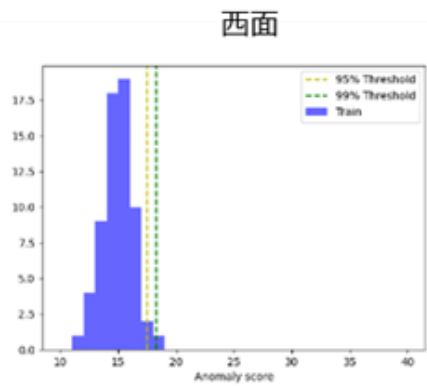


図 154 解析結果ヒストグラム（東面）

学習データの
解析結果ヒストグラム



対象データの
解析結果ヒストグラム

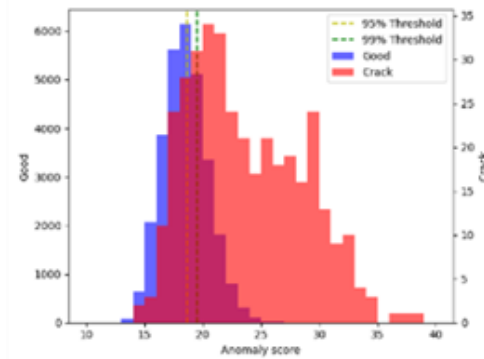
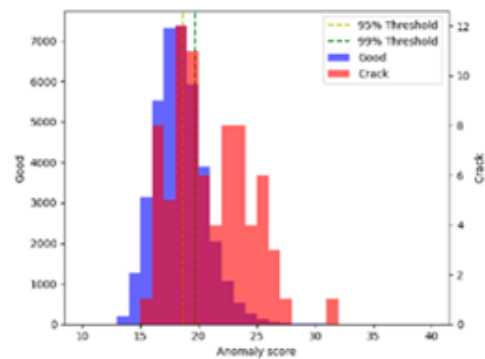
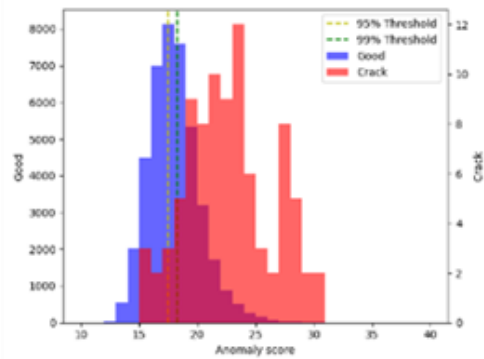


図 155 解析結果ヒストグラム（西面、北面、南面）

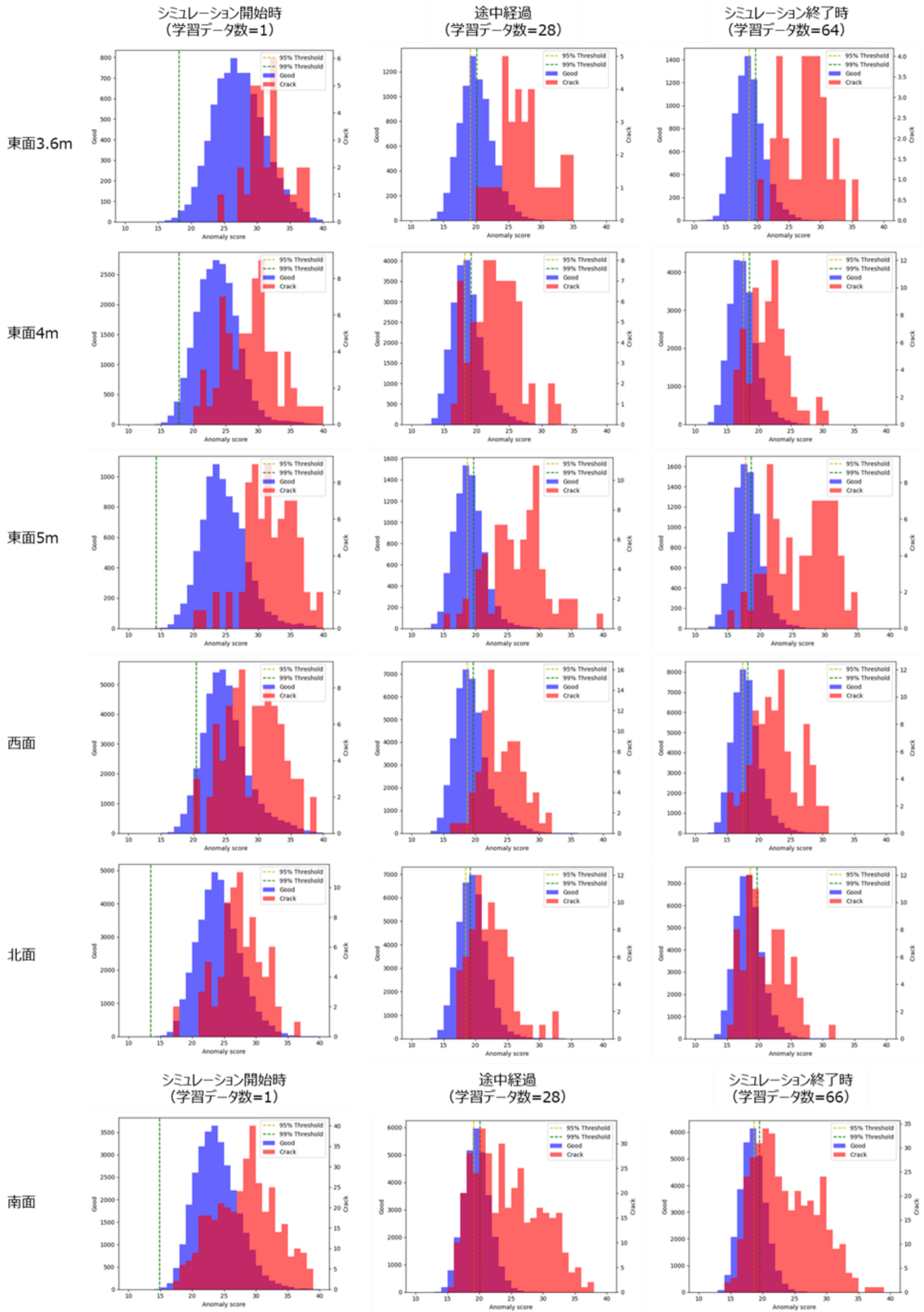


図 156 対象データの解析結果ヒストグラムの推移

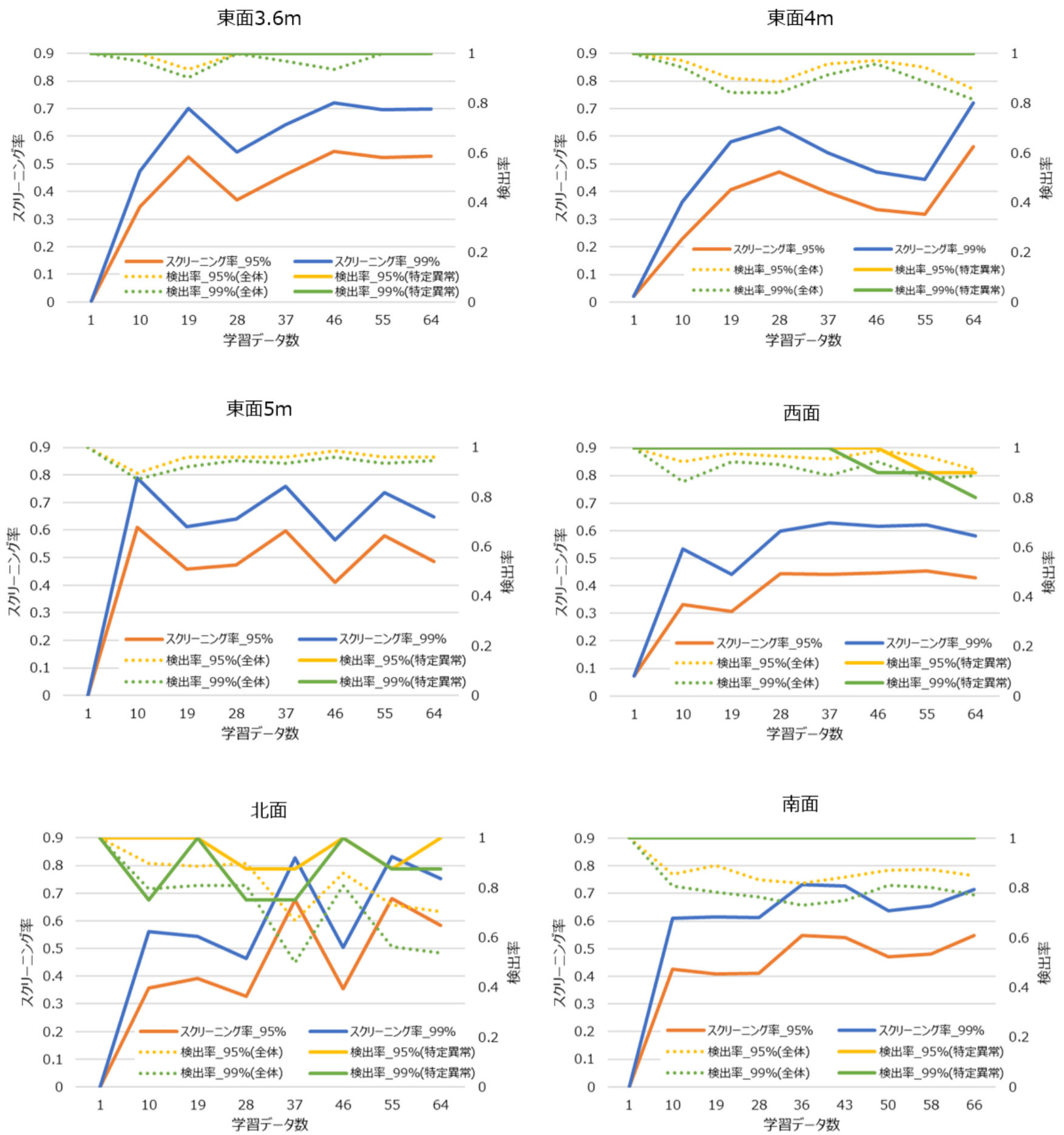


図 157 検出率とスクリーニング率の推移

b) AI 解析結果画像

画像データに対して AI 解析を行った結果の画像を示す。画像は以下のように記載する。

①～⑥：各面ごとの解析結果

● 学習データ

“2.1.5(2)c)“学習”～ “2.1.5(2)e)“学習データの追加”までを 8 回繰り返し得られた学習データを示す。同時に追加された学習データは同じ行に記しており、追加時に異常スコアの低かった順に左側から並べる。

● 異常データ

異常データをその異常スコアの低い順に示す。東面 3.6m 以外の面については AI 解析によって検出されなかった異常データは存在しなかったため、例外的に正常と判断された異常データの一覧を記載する。

● 元画像とスクリーニング処理後画像とオーバーレイ画像

解析結果のサンプルとして、元画像とそれを基に作成したスクリーニング処理後画像、及びオーバーレイ画像を示す。

⑦：2D 設計図面データへのマッピング結果

“2.1.5 (3) AI 解析結果の 2D 設計図面データへのマッピング”にて示した手法で作成した、AI 解析結果を 2D モデルへマッピングした結果を示す。

① 東面 3.6m

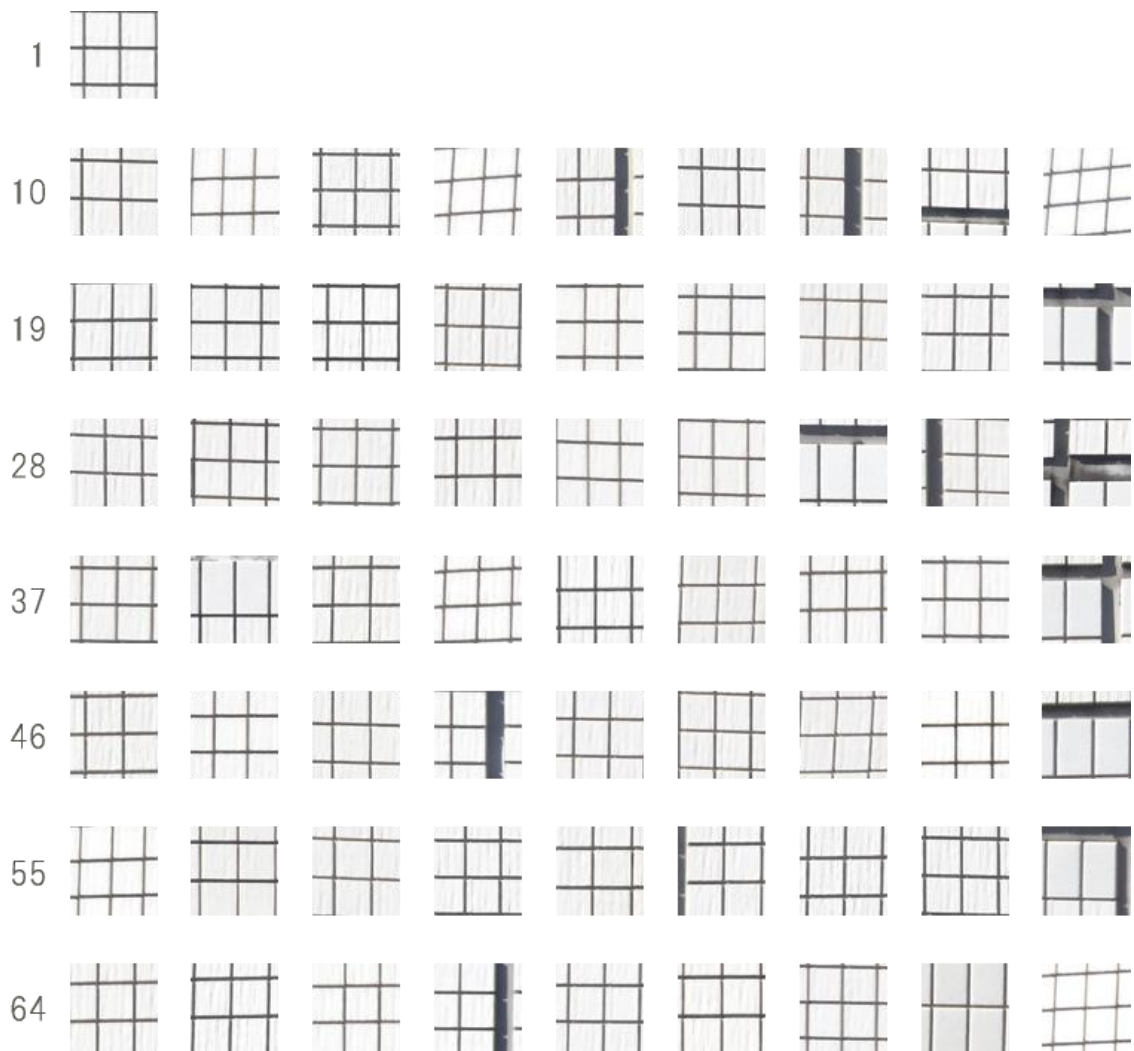


図 158 学習データ一覧 (東面 3.6m)

異常スコア

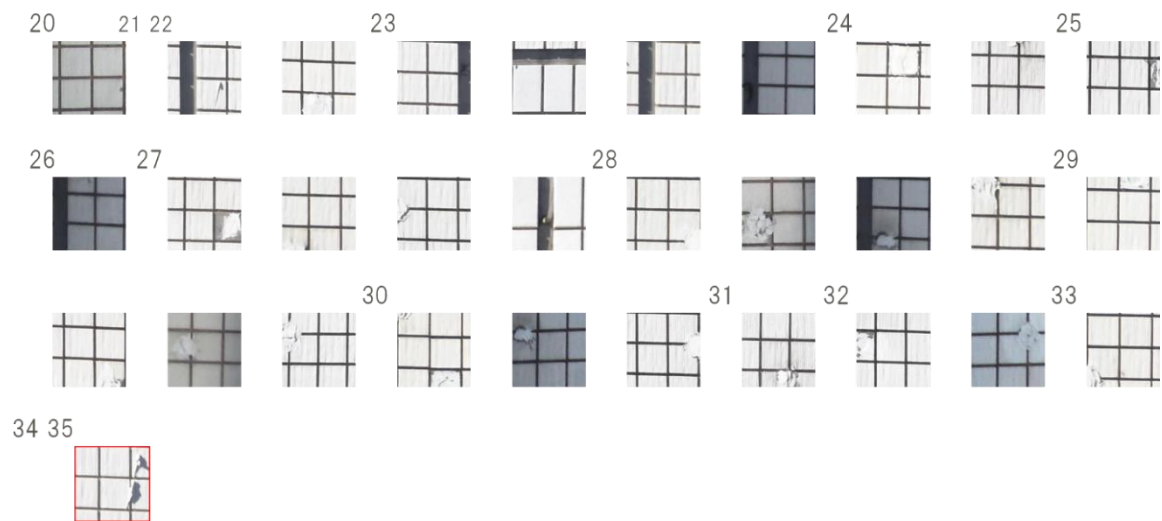
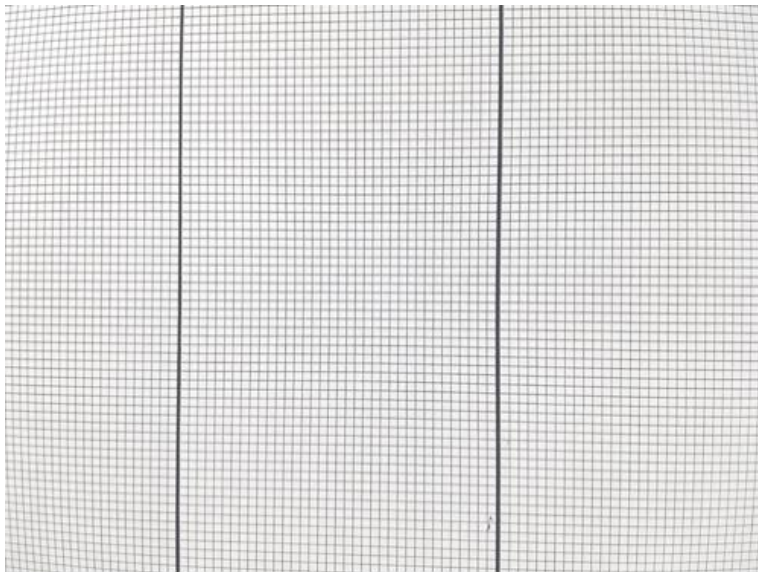
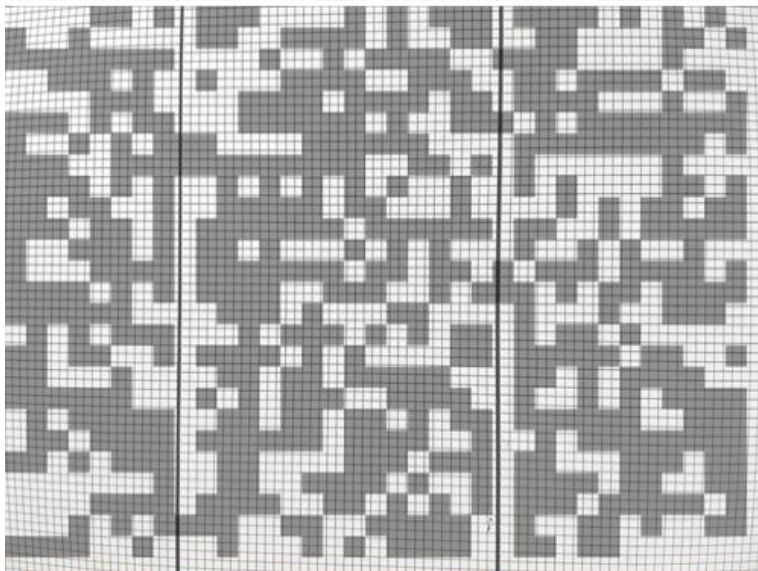


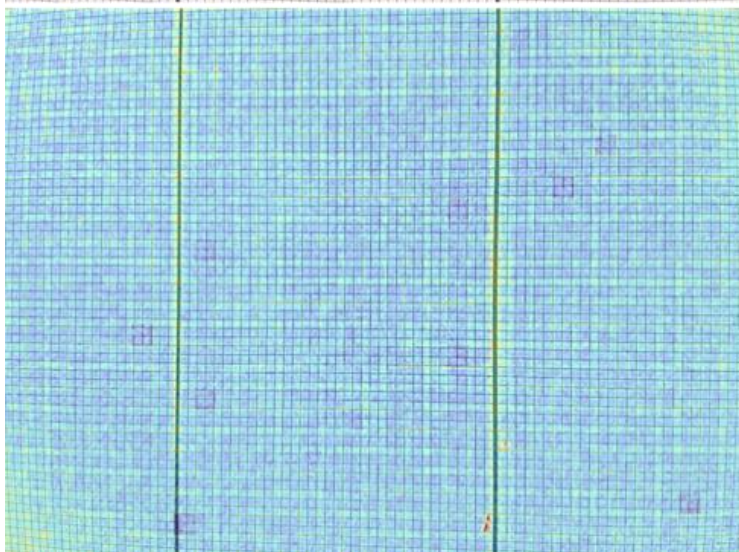
図 159 異常データ一覧 (東面 3.6m) ※赤枠は異常データ(特定異常)



撮影データ



スクリーニング
処理後
撮影データ



オーバーレイ
画像

図 160 解析結果サンプル (東面 3.6m)

② 東面 4m

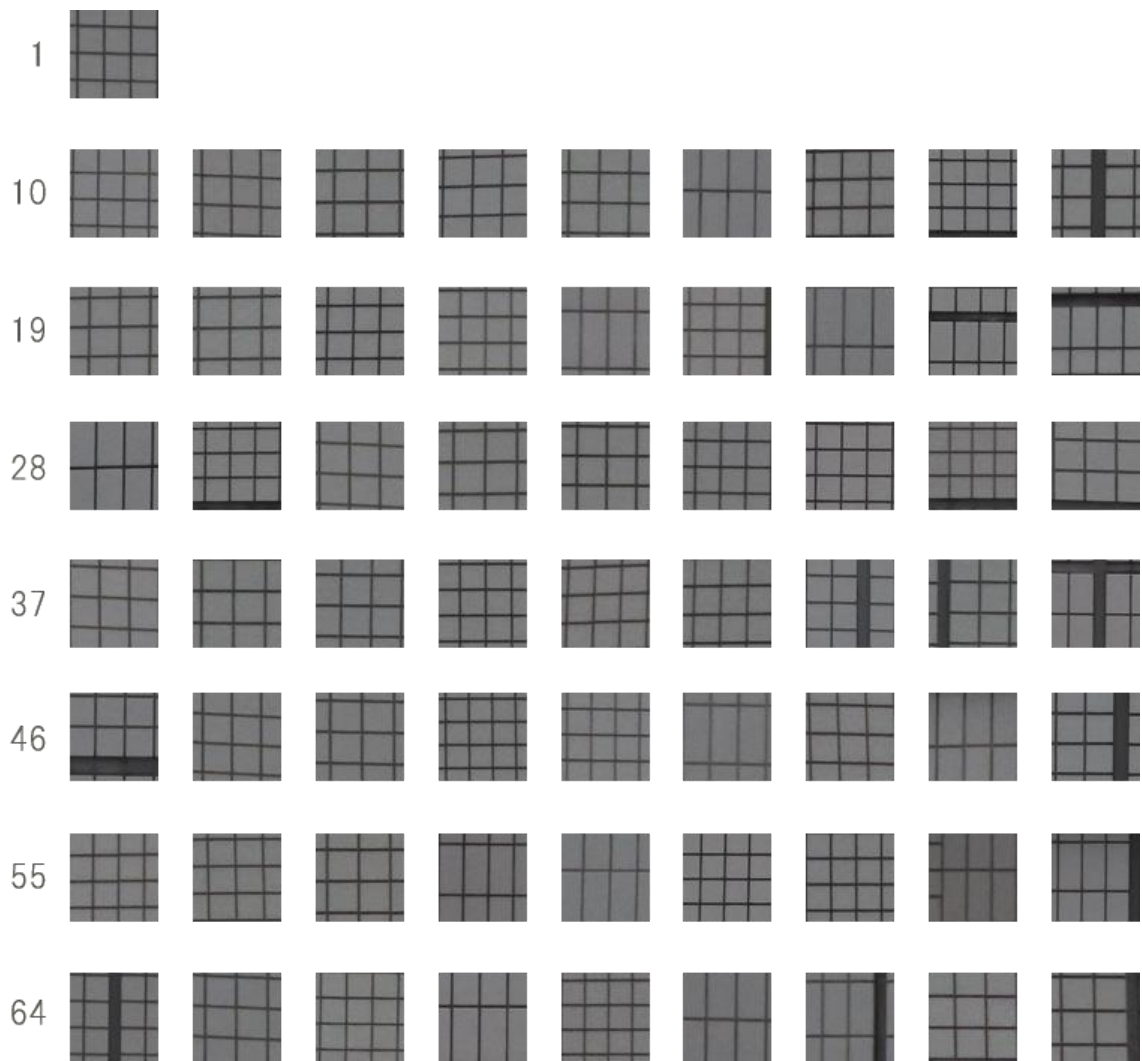


図 161 学習データ一覧 (東面 4m)

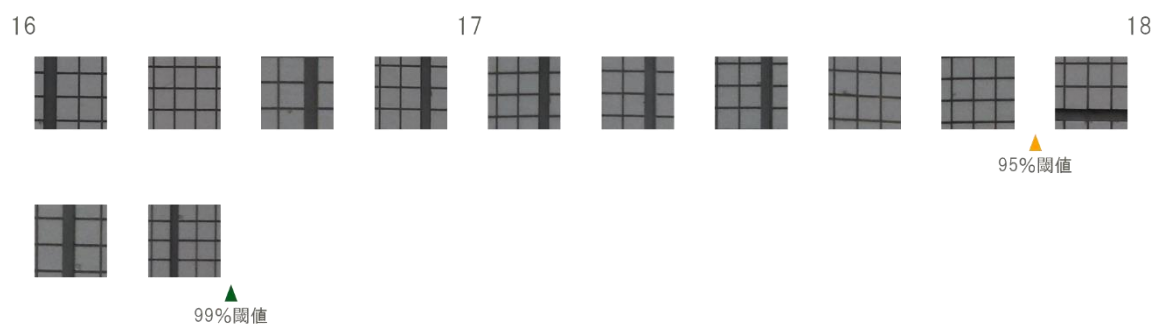


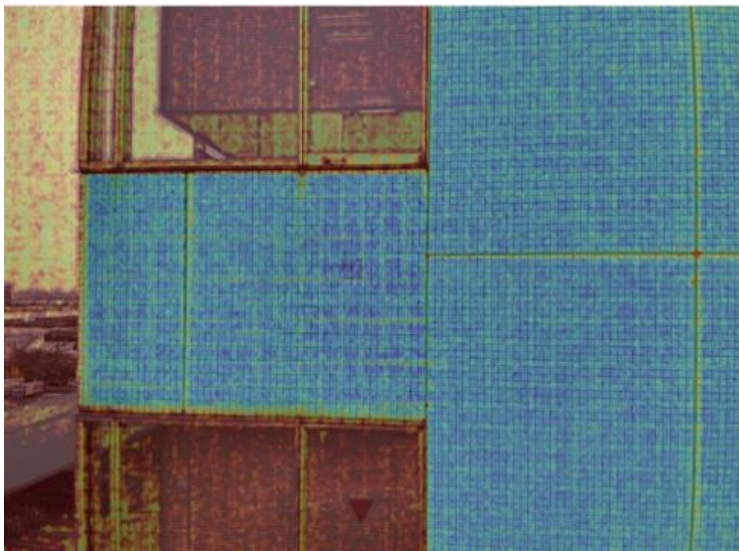
図 162 検出されなかった異常データ一覧 (東面 4m)



撮影データ



スクリーニング
処理後
撮影データ



オーバーレイ
画像

図 163 解析結果サンプル (東面 4m)

③ 東面 5m

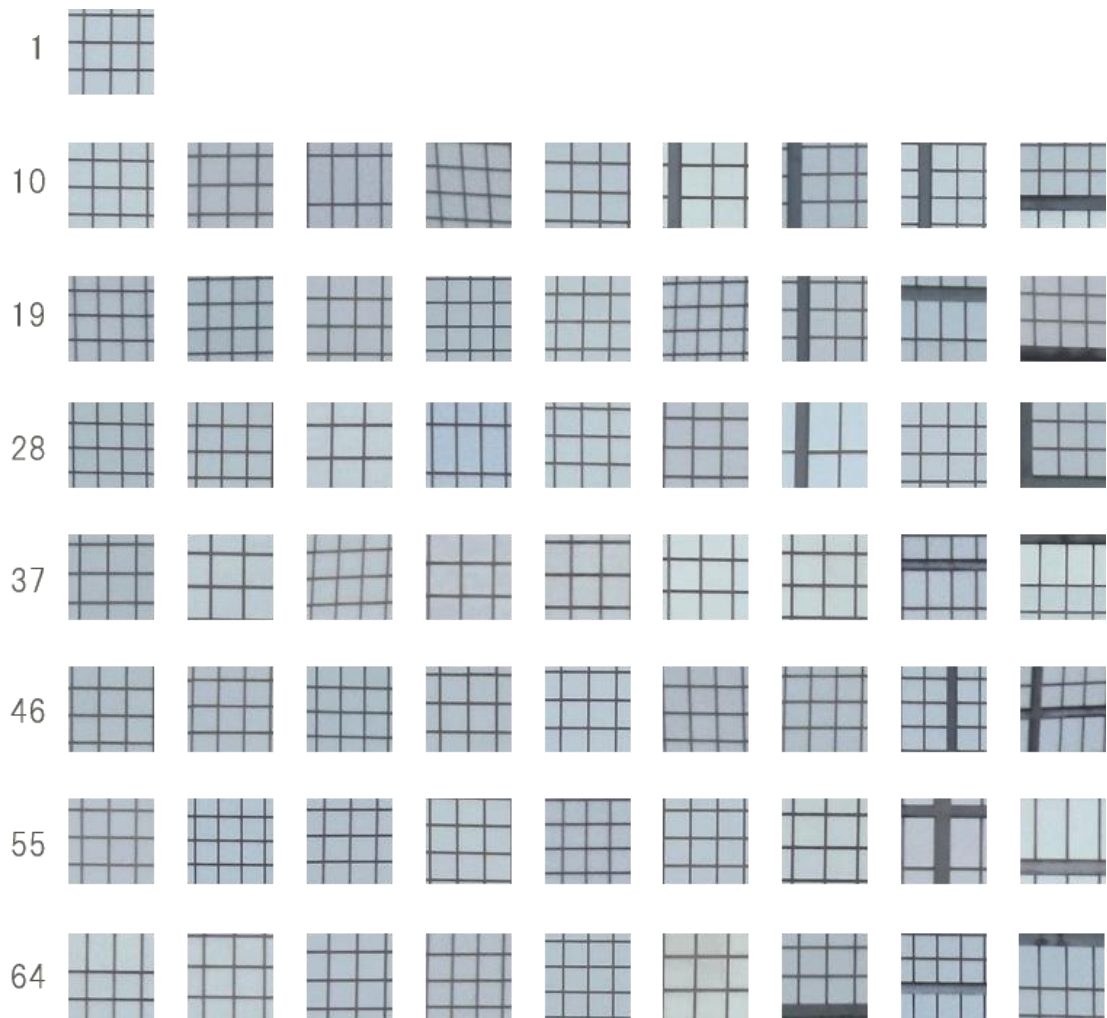


図 164 学習データ一覧 (東面 5m)

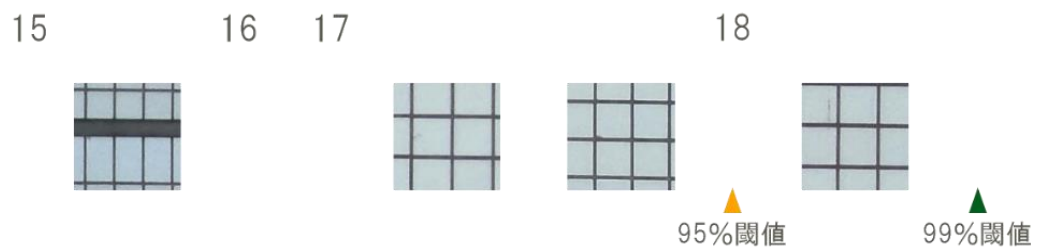
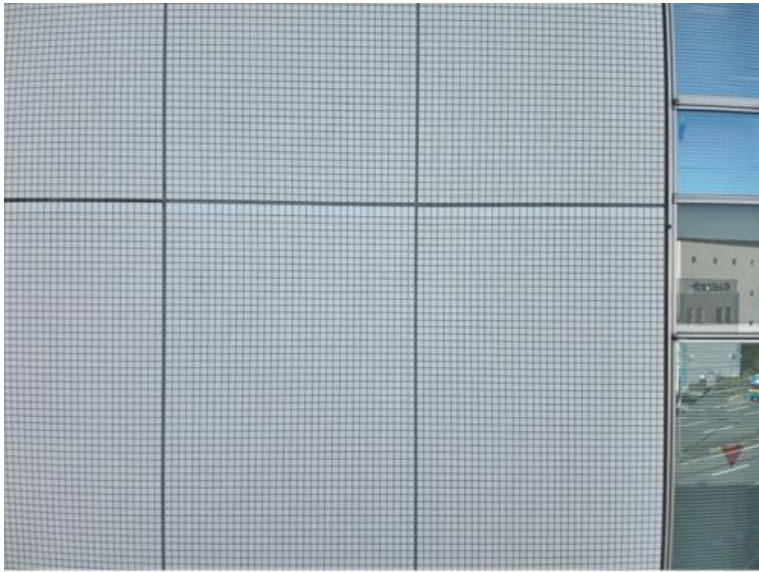
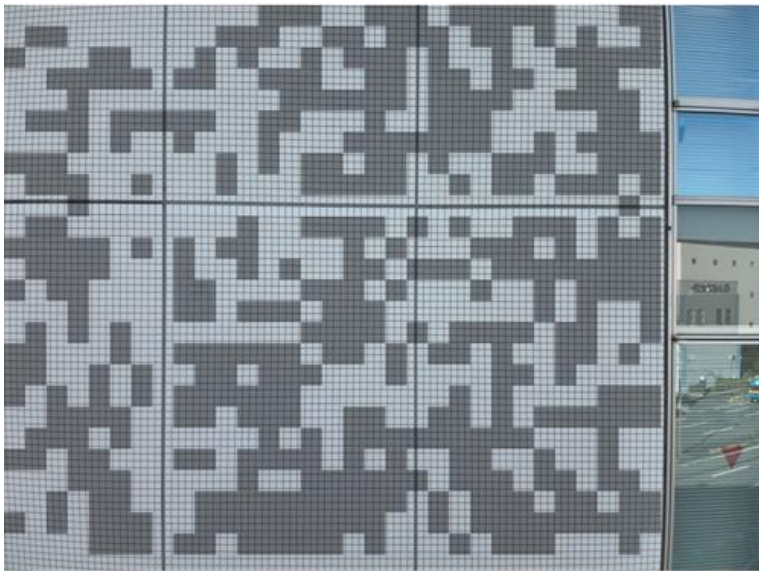


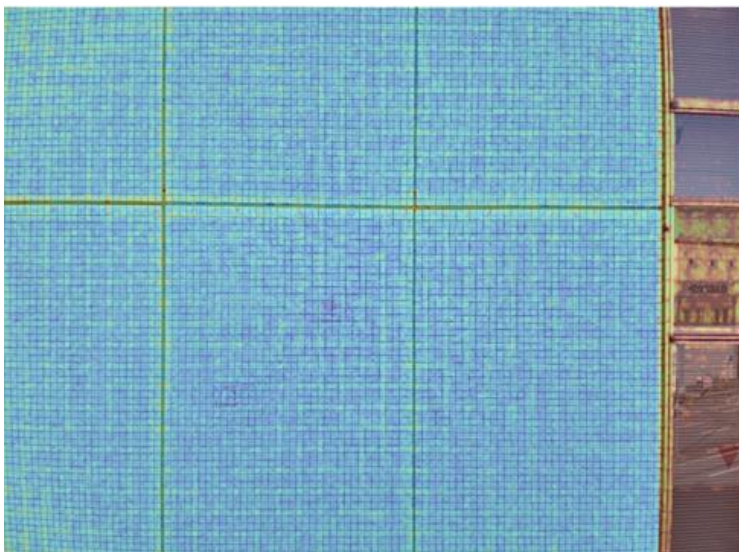
図 165 検出されなかった異常データ一覧 (東面 5m)



撮影データ



スクリーニング
処理後
撮影データ



オーバーレイ
画像

図 166 解析結果サンプル (東面 5m)

④ 西面

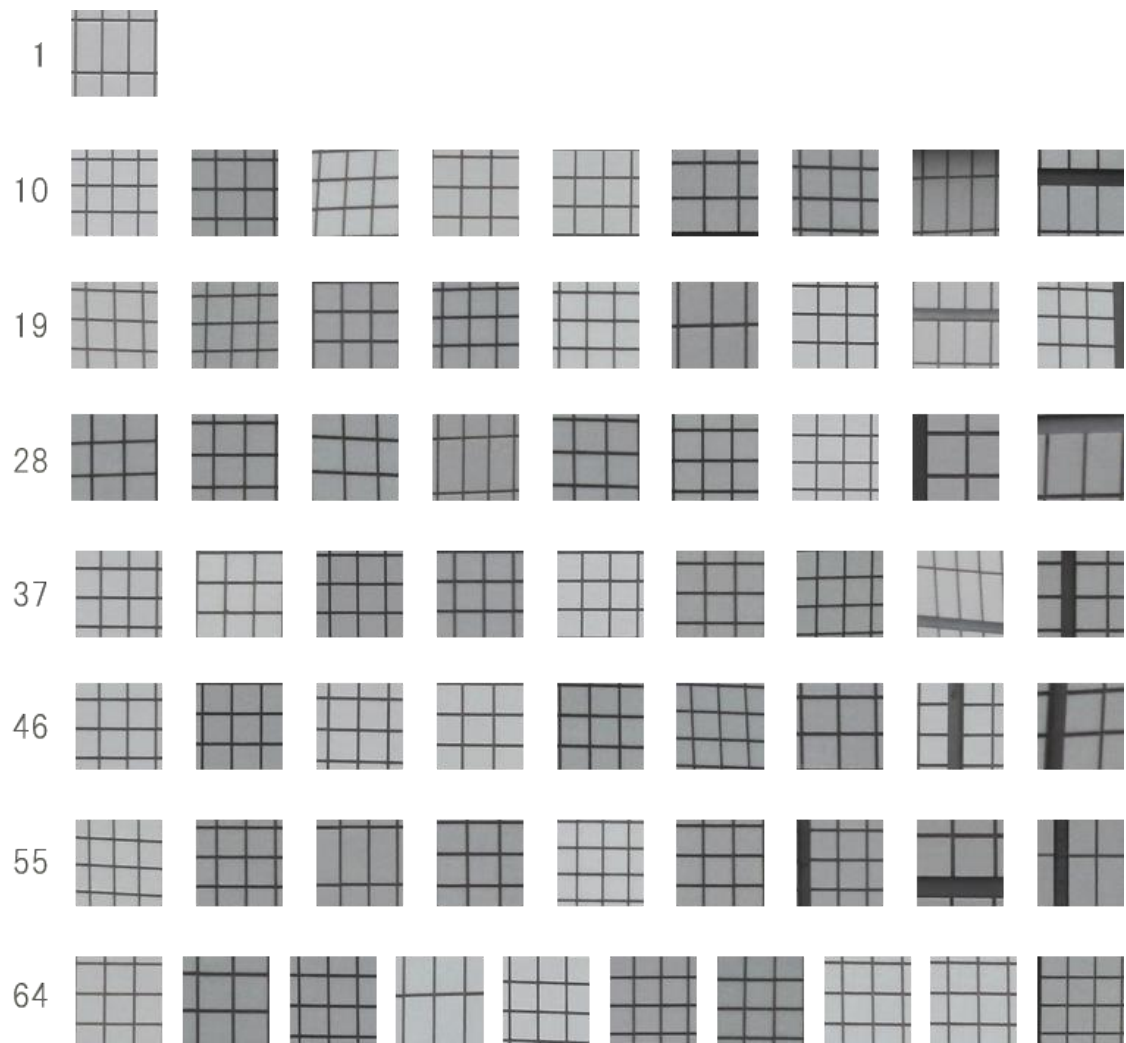


図 167 学習データ一覧 (西面)

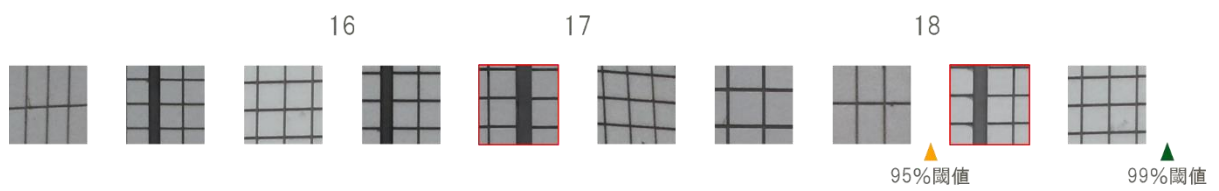
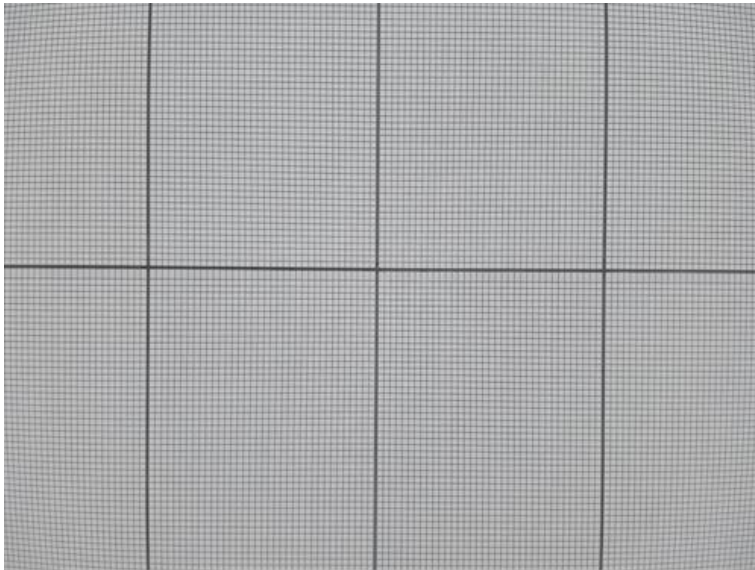
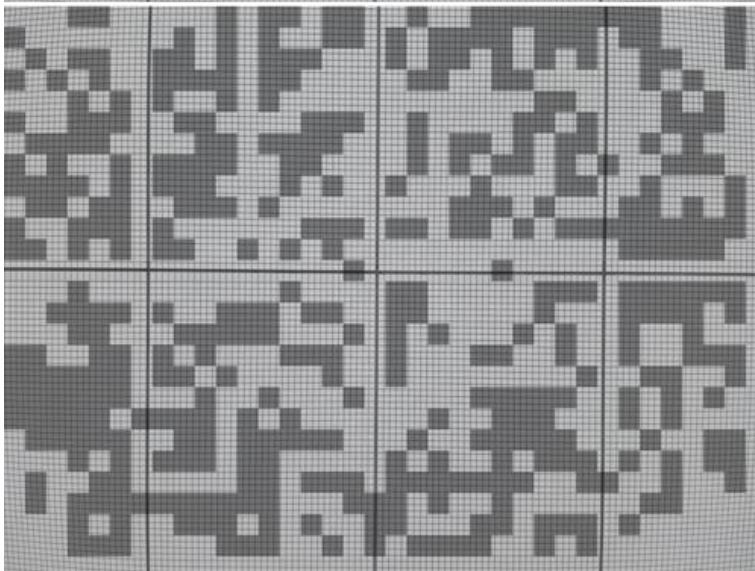


図 168 検出されなかった異常データ一覧 (西面)

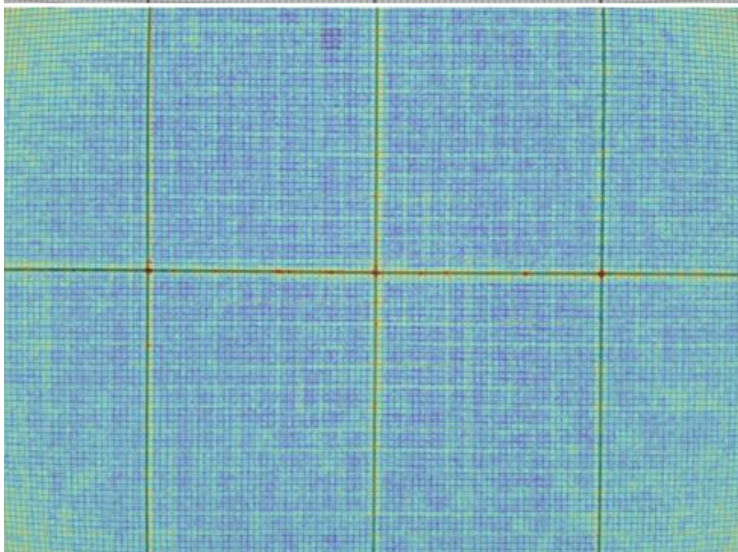
※赤枠は異常データ(特定異常)



撮影データ



スクリーニング
処理後
撮影データ



オーバーレイ
画像

図 169 解析結果サンプル (西面)

⑤ 北面

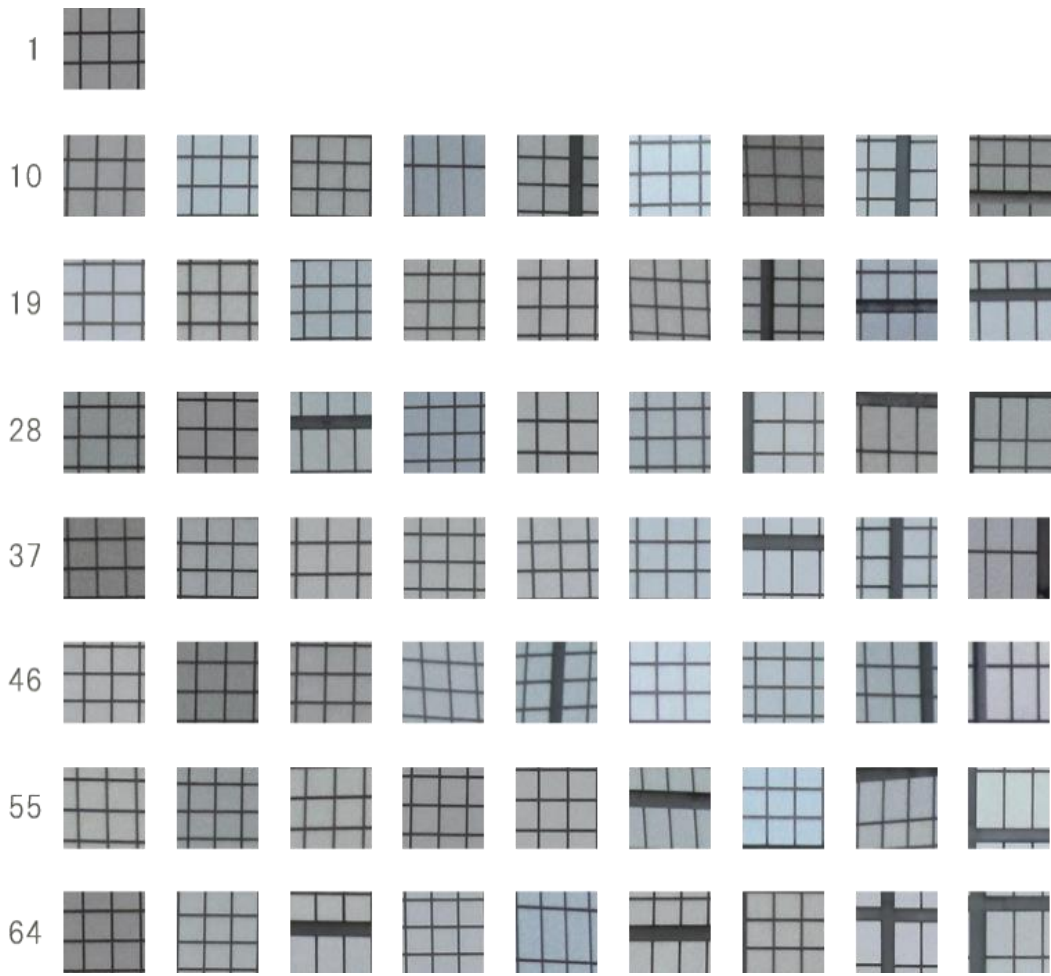


図 170 学習データ一覧（北面）

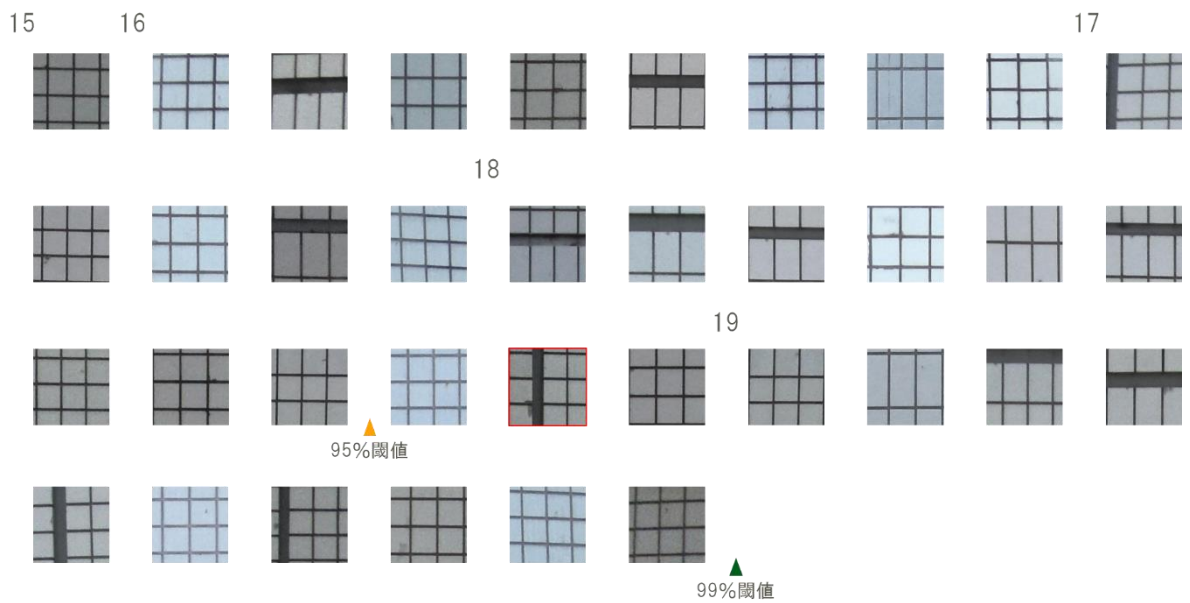


図 171 検出されなかった異常データ一覧（北面）

※赤枠は異常データ(特定異常)



撮影データ



スクリーニング
処理後
撮影データ



オーバーレイ
画像

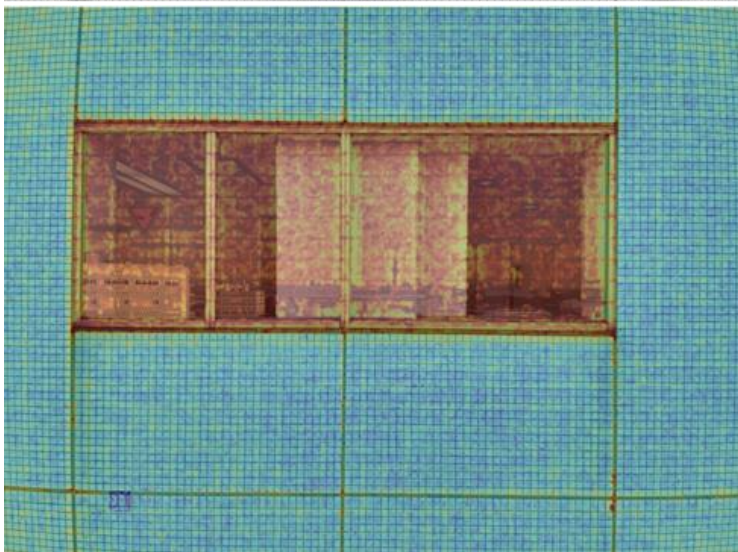
図 172 解析結果サンプル（北面 1）



撮影データ



スクリーニング
処理後
撮影データ



オーバーレイ
画像

図 173 解析結果サンプル（北面 2）

⑥ 南面

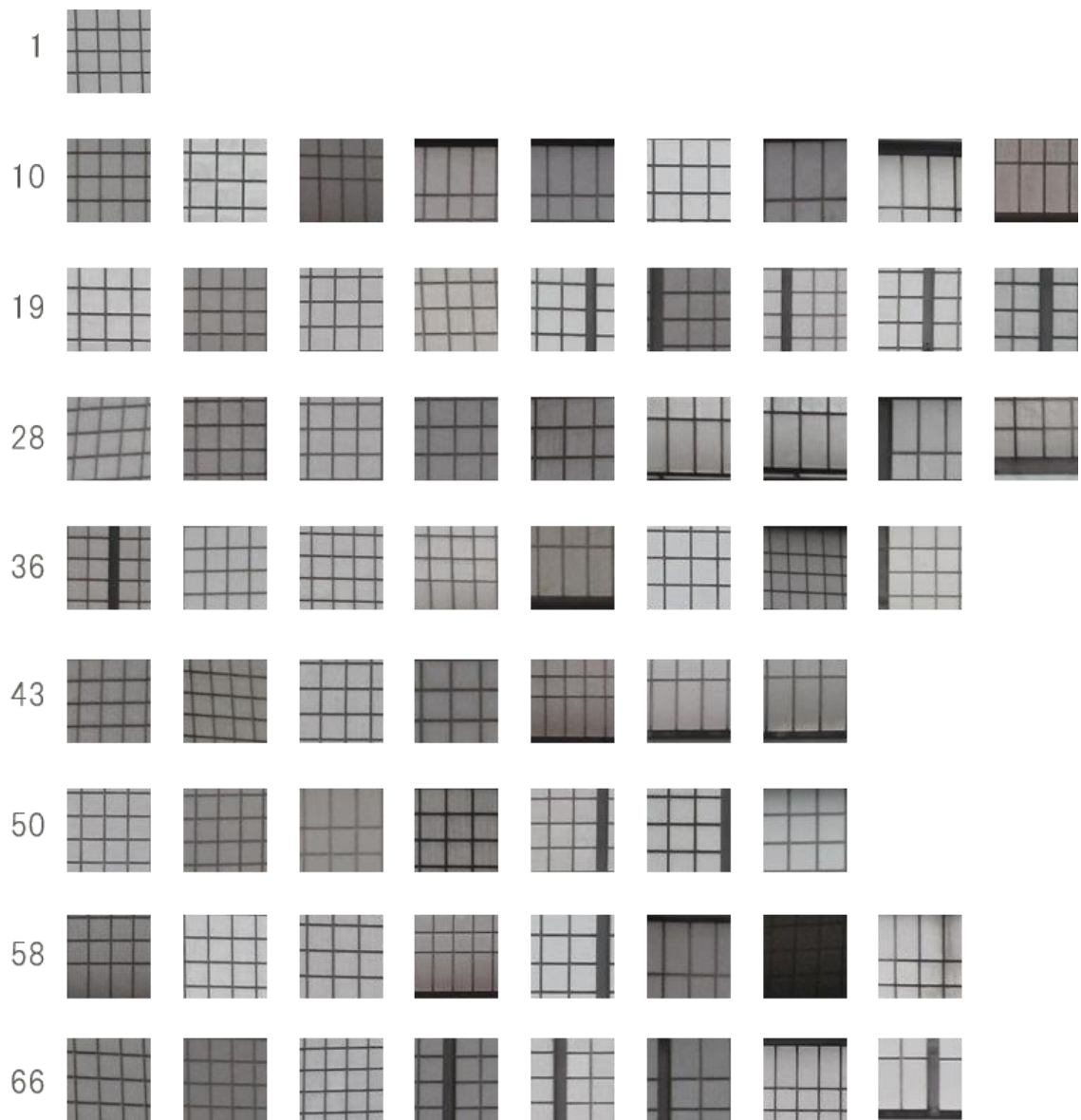


図 174 学習データ一覧 (南面)

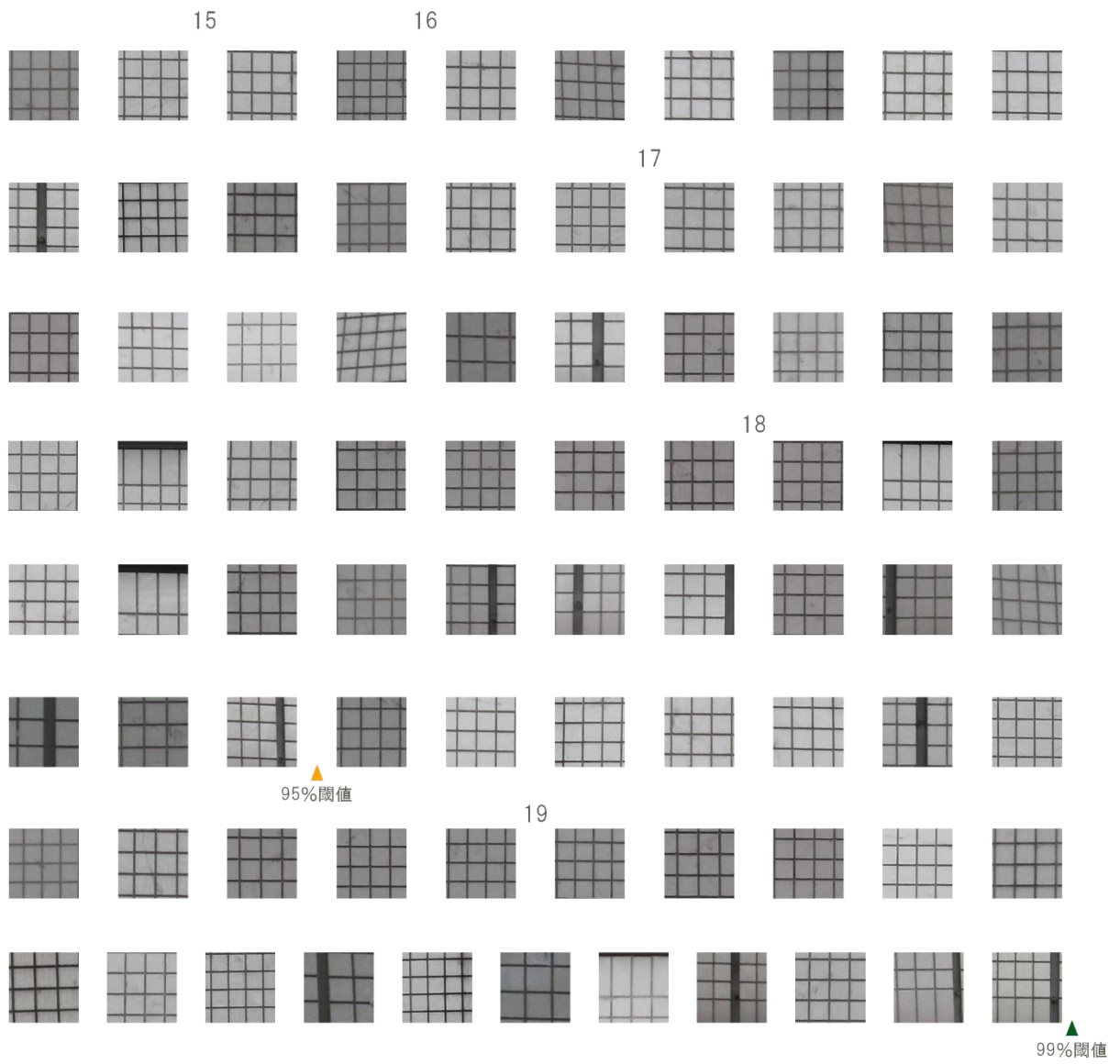


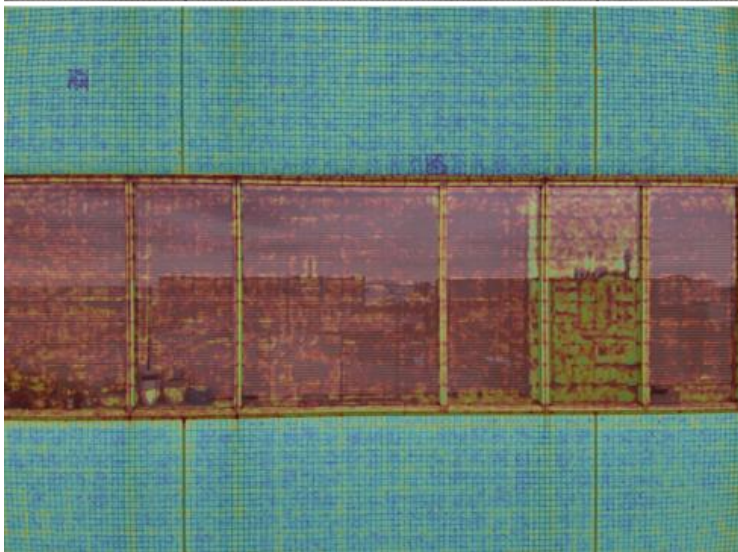
図 175 検出されなかった異常データ一覧（南面）



撮影データ



スクリーニング
処理後
撮影データ



オーバーレイ
画像

図 176 解析結果サンプル (南面)

⑦ 2D 設計図面データへのマッピング結果

実使用時の作業性向上を目的として、結果の一覧及び注目力所の図面への対応づけを機能に盛り込んだビューワーアプリケーションを作成した。

撮影位置情報を付加された撮影画像、撮影対象となる建築物の 2D CAD データ、その CAD データと画像との対応付け情報（緯度経度情報等）を入力情報とし、図面と撮影画像が 2 層（詳細と部分統合）で対応づけされ、それぞれマウスクリックで対応しているものに表示切替できるビューワーアプリケーションである。概略を以下に示す。

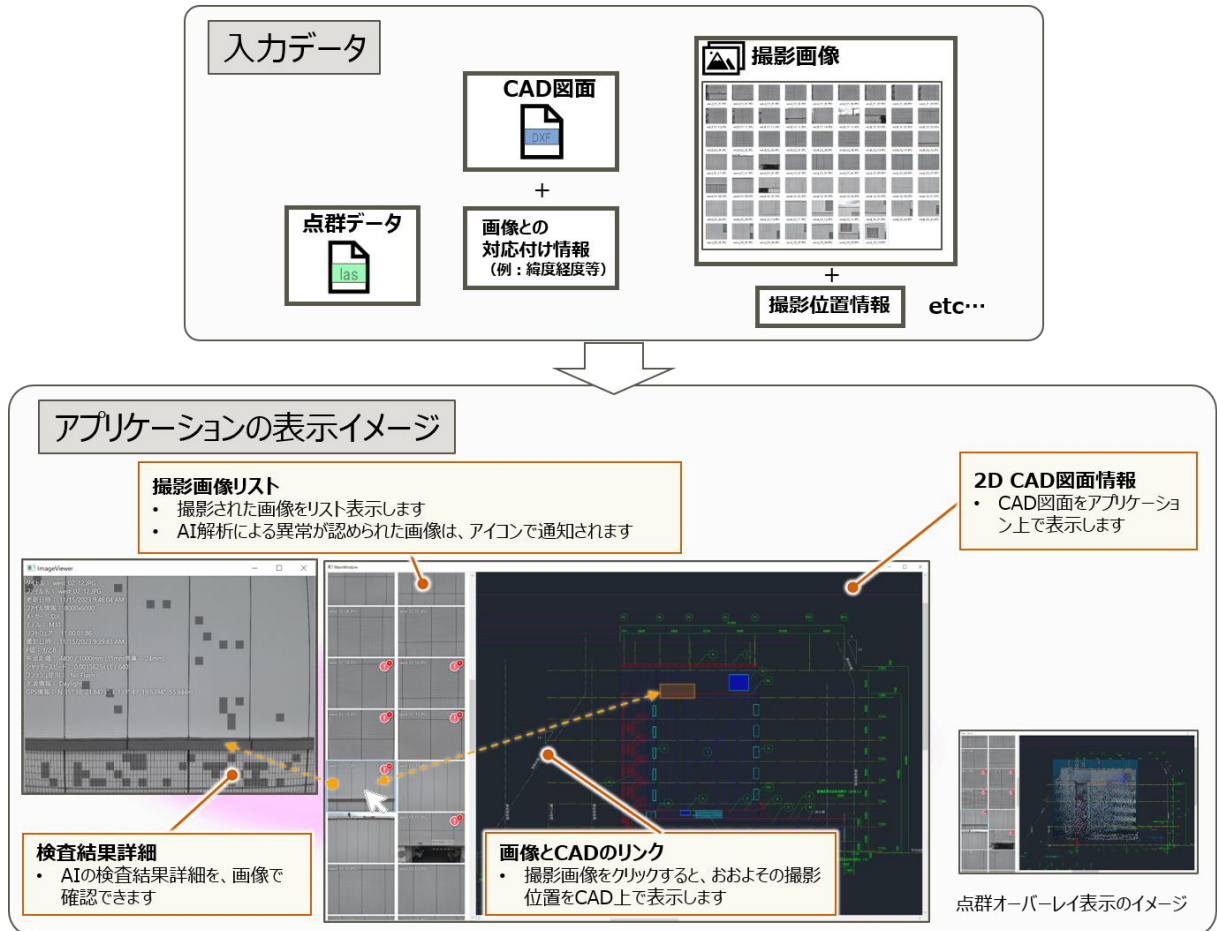


図 177 ビューワーアプリケーションの概略説明図

このビューワーは点群データを CAD データと対応づけることも可能である。また、帳票作成への拡張にも対応可能である。

c) 従来の目視点検との比較

検出率（特定異常）は 0.9～1 と目視点検と同等といえる水準であった。その理由として、12 条点検にて異常とされる箇所は今後落下物の危険があるなどといった比較的大きい異常が多く、AI 上でも検出しやすかったためであると考えている。また、AI 解析はすべての壁面の一定の基準で分類するため、検査員が誤って異常箇所を見落としてしまうようなヒューマンエラーの防止に寄与できる可能性がある。

一方で、唯一検出できなかった異常（目地の亀裂）や、その他異常として AI 解析担当者が追加した異常のうち大きさの小さいものに関しては検出できない結果となったため、現状の性能では目地は解析結果にかかわらず改めて確認するなどの対応が必要となる。

d) スクリーニング率の目標との比較

スクリーニング率は高いものでも 0.58 と目標の 0.8 に及ばない結果となった。学習データと正常データの分布範囲に差があったことがその原因である。

本来正常データと学習データは同じ範囲になることが望ましいが、実際には正常データと学習データの分布形状は同様となったものの、ピーク位置に 1 以上、大きければ 2 以上差がある結果となった。この結果から、学習データの選択に課題があると考えており、具体的には学習データ追加のアルゴリズム（学習データ追加の際のサンプリング方法）を改善することが必要である。

e) AI 解析に適した撮影条件

実用化に向けて、AI 解析に適した撮影条件を明確化する。考察は以下の項目に分け、①～④で判断材料として結果から見られた特徴を示し、⑤でそれらの特徴を基にまとめを行う。

- ① 検出できなかった異常データの特徴
- ② AI 解析に適した対象データの特徴
- ③ AI 解析に適さない対象データの特徴
- ④ 適用範囲外データの特徴
- ⑤ まとめ

① 検出できなかった異常データの特徴

● 目地の亀裂

西面の検出率（特定異常）が 0.9 となったのは、図 178 のような 1 枚の異常が検出できていなかったためである。点検報告書にてシーリング劣化として報告された本異常箇所のような、黒や暗い灰色の目地に黒の亀裂が入っている箇所については検出が困難である。これは、AI 解析の過程で、画像内の画素値の変化量が異常スコアに影響するためだと考えられる。

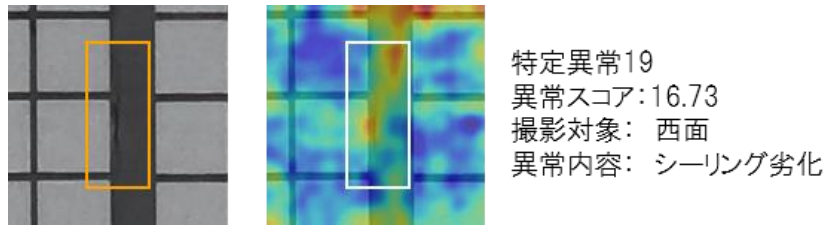


図 178 目地の亀裂箇所の異常データ解析結果例

- 小さい異常

異常の大きさが小さい場合においては検出が困難である傾向が確認できた。図 179 は、異常と検出されているものの、異常スコアが低くなっている異常の例である。この他にも、“3.2.4 (1) b”の異常スコアの低い異常データを確認すると、大きさの小さい異常の画像データが多く見られた。このように小さい異常のほとんどは壁面の点検において是正の必要のない異常であるが、AI 解析の傾向としてこのような結果が得られた。

また、図 153 にて視認不可の例に挙げたような線の細いひび割れなどは画像として映り込んでいない場合がある。

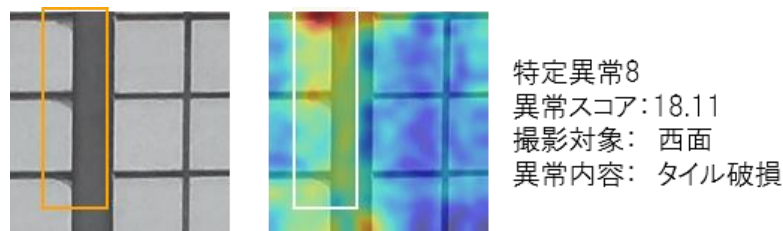


図 179 サイズの小さい異常の異常データ解析結果例

- 暗い画像の中の異常

画像が暗い場合においては検出が困難となる。以下の図 180 は、ピクセル単位では異常箇所は認識しているものの、画像単位での異常スコアが低くなっている異常の例である。同じ大きさであっても、明るい（白い）面に黒い異常がある場合と、暗い（黒/灰色の）面に黒い異常がある場合とでは前者の方がより高いスコアを示す傾向が確認できた。この理由についても目地の亀裂と同様に、画像内の画素値の変化量が異常スコアに影響するためだと考えられる。

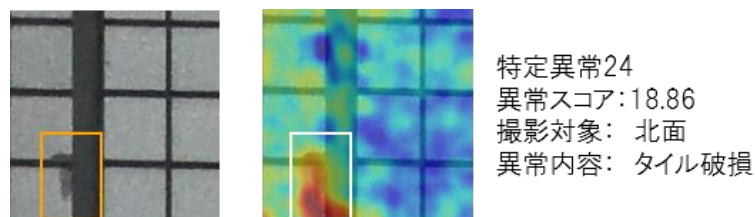


図 180 暗い面の異常データ解析結果の例

② AI 解析に適した対象データの特徴

検出率（全体）の高かった東面 3.6m と東面 5m の特徴を示す。

● 共通項

検出率が高かった面の共通点は、撮影環境が明るかった点である。画像データが明るいとは、異常箇所が目視でも発見しやすく、AI 解析においても画像データの異常箇所における画素値の変化量として読み取られるため、異常が検出しやすくなっているものと考えられる。つまり、目視においても AI 解析においてもコントラストは検出結果に大きく影響する。一方で、目地の中に影が差している様子も確認できており、本実証においては確認できなかったが、目地の亀裂の検出に悪影響が起きる可能性も考慮が必要である。

● 東面 3.6m

検出率が高かった東面 3.6m の特徴は 2 点あり、1 点目は小さい異常が少なかった点である。この面では他の面で見られた小さい異常は見つけれなかった。前述の通り、小さい異常は誤検出の主要因の 1 つであり、これが少ないため検出率（全体）が高いと考えられる。

2 点目は、画像が鮮明であつた点である。東面 3.6m の画像の目が差した箇所を確認すると、タイルの模様のような縦縞が入っていることまで確認できる。他の面ではこれは確認できず、このような画像の鮮明さから異常箇所の細かいテクスチャの変化がとらえられており、それが異常スコアの高さとして反映されていると考えられる。

画像が鮮明に描画された原因として、3.6m の離隔距離で撮影された唯一の面であることから、唯一ピントが合っていた可能性がある。その場合は他の面においても撮影時の設定をより綿密に行うことで精度向上が見込める。

③ AI 解析に適さない対象データの特徴

解析結果ヒストグラムから正常データの分布と異常データの分布が広く重なっていた北面と南面の特徴を示す。

● 共通項

AI 解析に適さない面の共通点は、大きさの小さい異常が多かった点である。前述の通り、小さい異常は誤検出の主要因の 1 つであるため、これが多いため検出率（全体）が低くなった。

● 北面

AI 解析に適さない面の 1 つである北面の特徴は、図 181 に示すように、明るい画像と暗い画像が混じっていた点である。北面は午前から夕方にかけて長時間の撮影であったため、午前 11 時頃の明るい環境で撮影された画像データと、16 時頃の暗い環境で撮影された画像データが混在している。すべての面の中で、画像データ内の明るさの違いが最も顕著に表れていた面であり、学習データの追加の過程で結果が安定しなかった理由の 1 つであると考えている。



図 181 撮影時刻の異なる画像の例(北面)

- 南面

AI 解析に適さない面の一つである南面の特徴は 2 点あり、1 点目は壁面に汚れが多かった点である。今回汚れている箇所も異常データとして加えたが、タイルの剥がれなどの黒色のくっきりとした異常箇所と比較して色の変化が乏しく、異常スコアが低くなる傾向があった。

2 点目は適用範囲外の箇所が多かった点である。表 103 画像データ仕分け結果に示した通り、全画像データ数 87,360 に対し、正常データ数は 29,956 と 34%程度である。学習データの追加の際には正常データが確認できるまでピックアップされたデータの確認が必要となるため、データの確認回数が増え、学習時の手間が増大する。

④ 適用範囲外データの特徴

本実施項目では異常を除き、タイル面以外が映った画像データは全て適用範囲外データとした。適用範囲外のデータは学習データに含まれないため、AI 解析すると基本的に異常として判定される。解析結果サンプルからも窓や背景などがスクリーニングされておらず、オーバーレイ画像上で赤く表示されている様子が確認できた。

今回対象とした新木場ビルの壁面において、主な適用範囲外箇所を以下に示す。

- 窓
- 背景
- 看板
- ビル 1 階部分、屋上部分
- 異なる素材の壁面（西面上層階のセメント面等）

これらの中には学習データに加えることでスクリーニングできる可能性が高い箇所と、低い箇所が存在する。異なる素材の壁面、特に西面上層階のセメント面は学習によってスクリーニングができる可能性が高いと考え、比較実証における対象として設定した。結果については“3.2.4 (2) ⑤”にて述べる。

⑤ まとめ

AI 解析に適した撮影条件について、①～④の内容を基に以下の通りまとめる。
検出されやすい異常の特徴：

- 大きい（例：タイルのはがれ）
- 周辺と色が異なる（例：タイル面上の黒い傷）

AI 解析に適した壁面：

- 汚れが少ない
- 適用範囲外の箇所が少ない

AI 解析に適した撮影条件：

- 一定した明るさ（同一時間帯など）の環境での撮影

f) 現状と課題

現状の性能と、適切な運用方法（撮影条件）について、のように現状をまとめる。

- 従来の目視点検と同等の検出率（0.9～1）であった
- スクリーニング率が目標 0.8 に達しなかった
- 一定した明るさ（同一時間帯など）の環境での撮影が望ましい

実用化に向けて、性能改善と安定化が求められており、そのための課題として以下が挙げられる。

① 効率的な学習データ数の決定

本実証では、効率的な学習データ数を具体的に導き出せなかったが、理想的な学習を行えば 40 枚程度でも十分な学習が可能であると考えている。

実用化に向けて、最小限の学習で一定水準以上の AI 解析が実現できるよう、効率的な学習データ数の決定が必要となる。しかし、学習データ追加の過程で、スクリーニング率が安定しなかったために本実証では効率的な学習データ数を具体化することができなかった。

当初の想定では、性能限界値に漸近する曲線のような形で推移すると考えており、その場合はスクリーニング率の目標値や上昇量を基に学習データ数の決定が可能である。一方で図 157 より、実際の結果を確認すると、学習データ数増加に伴って、スクリーニング率が上下する様子が確認された。対象の壁面によっても傾向が異なるため、このような結果からは一定水準以上のスクリーニング率が担保できる効率的な学習データ数の決定は困難であると考えた。ただし、東面 4m を除くすべての面で、学習データ数 46 枚以下の解析で最大のスクリーニング率を示したため、目安として 40 枚程度で十分な学習は可能であると考えている。

実運用に向けて、安定した結果が得られるようにすることが今後の課題である。これは、学習データ追加のアルゴリズムの改善のほか、“3.2.4(1)(イ)e)AI 解析に適した撮影条件”にて示したような適切な撮影条件下で撮影を行うことでも改善の見込みがある。

② 学習データ追加のアルゴリズムの改善

正常データと学習データの異常スコアの分布の差を縮めることが性能改善に向けた目下の課題であるが、学習データ追加のアルゴリズム変更によって改善される可能性が高いと考えている。

改善の方法は試行錯誤の繰り返しとなるが、改善に向けた指針として正常データ全

体の分布に従ったサンプリングが重要であると考えている。現状のアルゴリズムは、本指針に従ったアルゴリズムの実装の一つであり、これまで実証を実施したアルゴリズムの中で最も優れた結果を示した。そのため、今後も本指針に従ってアルゴリズムの改善に取り組む。

なお、これまでの取り組みとして、以下の 2 つの学習データ追加アルゴリズムを試した。

- 正常データの中から、異常スコアが最大の画像データを学習データに追加
- 画像データの平均値以上の正常データの中から、異常スコアが最小の画像データを学習データに追加

これらは現状と異なり、正常データの異常スコアを下げるために最大のものや、全体の平均を加えていくというコンセプトで設計したものであるが、今回採用したアルゴリズムに及ばない結果となった。

(3) 比較実証

(ア) 画像データ仕分け結果

画像データを仕分けした結果を表 105 に示す。

①、②に関しては撮影時の解像度が 4K であったため、④、⑤のように 8K で撮影された場合と比較して元画像 1 枚あたりの画像データ数が少ない。また、④に関しては台形補正によって横方向の画素数が 8,000 から 20,000 以上に引き延ばされているため、元画像 1 枚あたりの画像データ数が多い。本仕分け結果を基に、AI 解析とその評価を行った。

表 105 画像データ仕分け結果（比較実証）

項目	①4K 動画	②4K 2倍ズーム	②4K 8倍ズーム	④傾き撮影	⑤セメント面	⑤セメント面とタイル面
元画像の枚数	18	16	48	20	14	61
全画像データ数	2,754	3,536	10,608	57,460	12,740	55,510
正常データ数	2,503	3,301	10,054	42,699	6,854	48,909
異常データ数 (特定異常)	2	0	0	5	20	30
異常データ数 (全体)	19	26	25	79	45	134

(イ) 解析結果

結果と考察を項目ごとに示す。なお、②、③の項目に用いたクラックスケールの画像は AI 解析に用いた画像データと異なり、検討用に別途作成した画像を用いた。

① 動画撮影の適用実証

4K 動画撮影データを基に作成した画像データに対して AI 解析を行い、同じ撮影範囲の基本実証結果（東面 3.6m）と比較した。

a) AI 解析結果

画像データに対して AI 解析を実施した結果を表 106、図 182～図 184 に示す。

以下の各項目について、基本実証との差異を述べる。

I. 解析結果ヒストグラム

解析結果ヒストグラムは基本実証と同様の形状をしていることが確認できる。

II. 検出率

検出率（特定異常）は基本実証と同様に 1 である。

III. スクリーニング率

スクリーニング率は 0.435 といった結果が得られ、基本実証の結果よりも 0.1 程度低い。

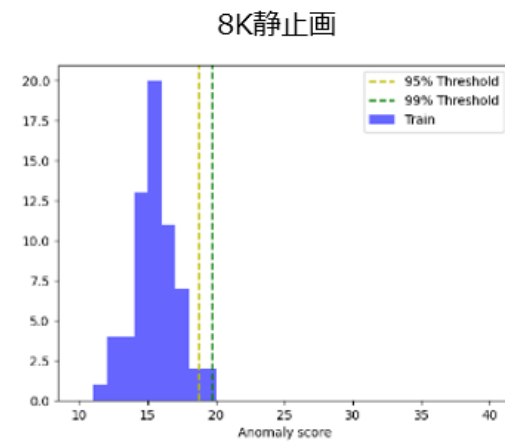
IV. 学習データ数

解析結果ヒストグラムの推移において、学習開始時の正常データに 2 つの山が見られるが、学習終了時には 1 つの山となった。

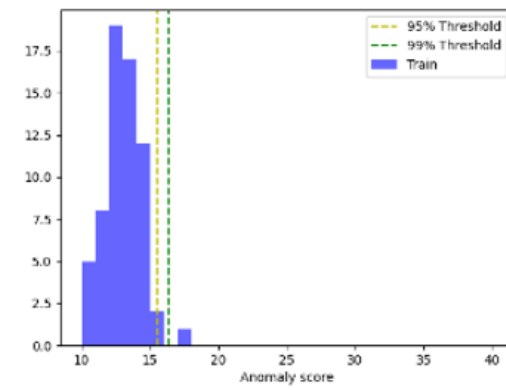
表 106 解析結果

項目		8K 静止画 (基本実証 東面 3.6m)	4K 動画
全画像データ数		9,100	2,754
正常データ数		7,704	2,503
異常データ数（特定異常）		1	2
異常データ数（全体）		31	19
学習データ数		64	64
95% 閾値	検出率 (特定異常)	1	1
	検出率 (全体)	1	1
	スクリーニング率	0.528	0.435
99% 閾値	検出率 (特定異常)	1	1
	検出率 (全体)	1	0.947
	スクリーニング率	0.699	0.570

学習データの
解析結果ヒストグラム



4K動画



対象データの
解析結果ヒストグラム

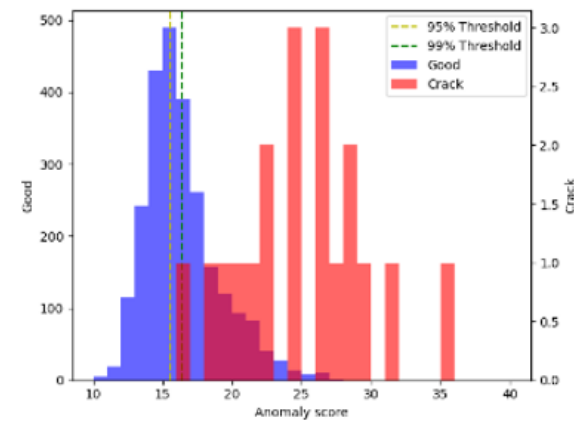
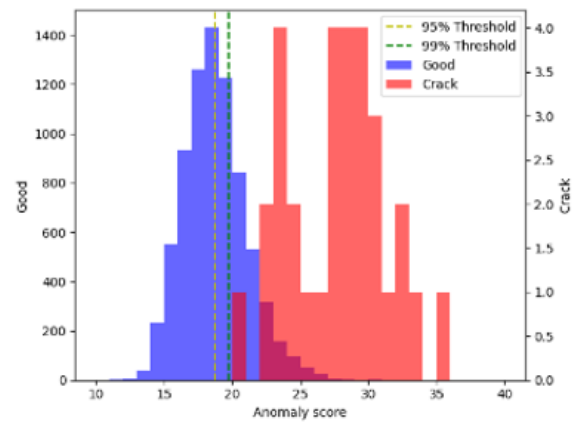


図 182 解析結果ヒストグラム

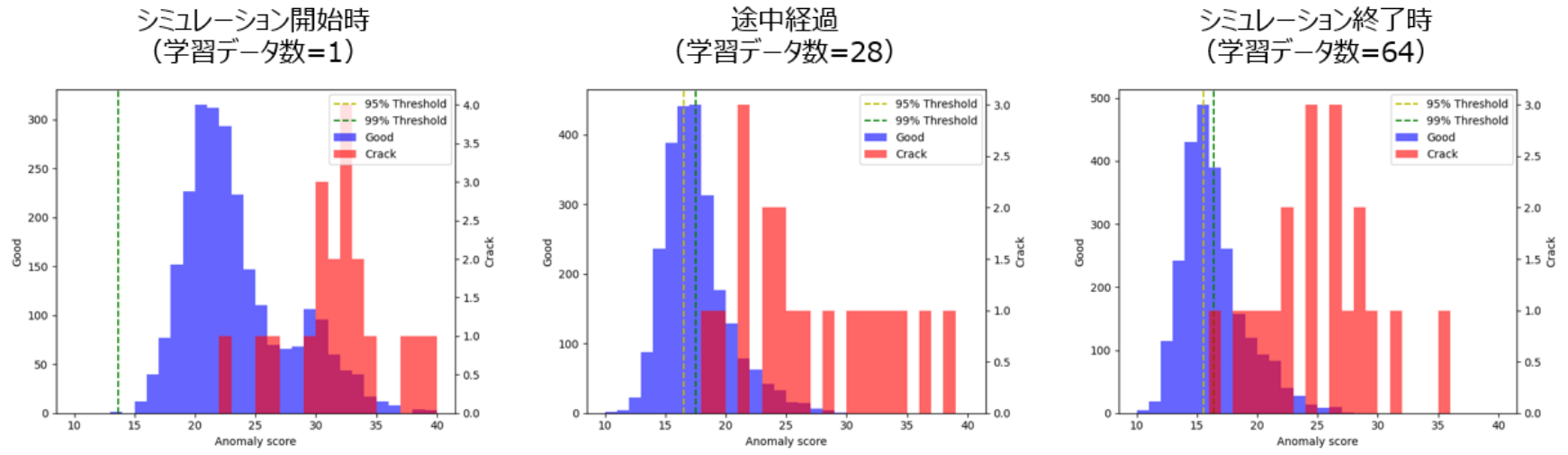


図 183 対象データの解析結果ヒストグラムの推移

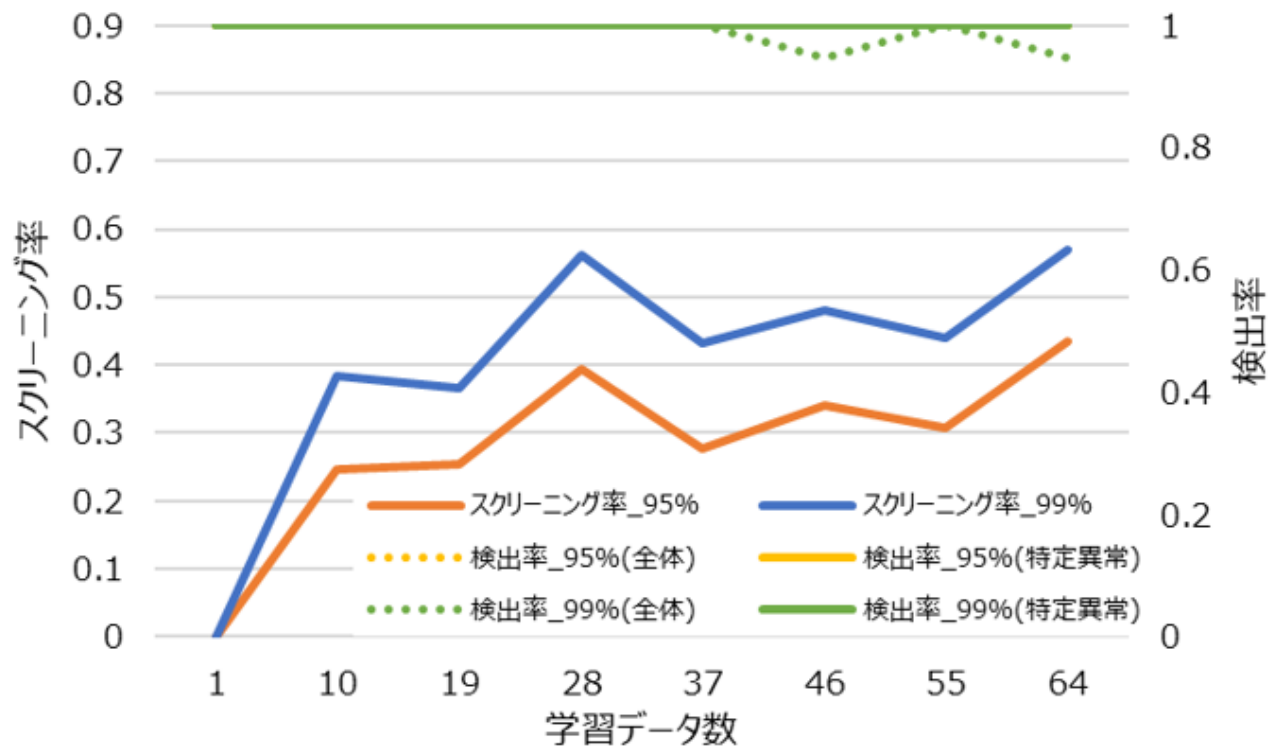


図 184 検出率とスクリーニング率の推移（動画撮影）

b) AI 解析結果画像

以下の通り、画像データに対して AI 解析を行った結果の画像を示す。

“2.1.5(2)c”学習”～“2.1.5(2)e”学習データの追加”までを 8 回繰り返して得られた学習データを示す。同時に追加された学習データは同じ行に記しており、追加時に異常スコアの低かった順に左側から並べる。

● 元画像とオーバーレイ画像

解析結果のサンプルとして、元画像とそれを基に作成したスクリーニング処理後画像、及びオーバーレイ画像を示す。

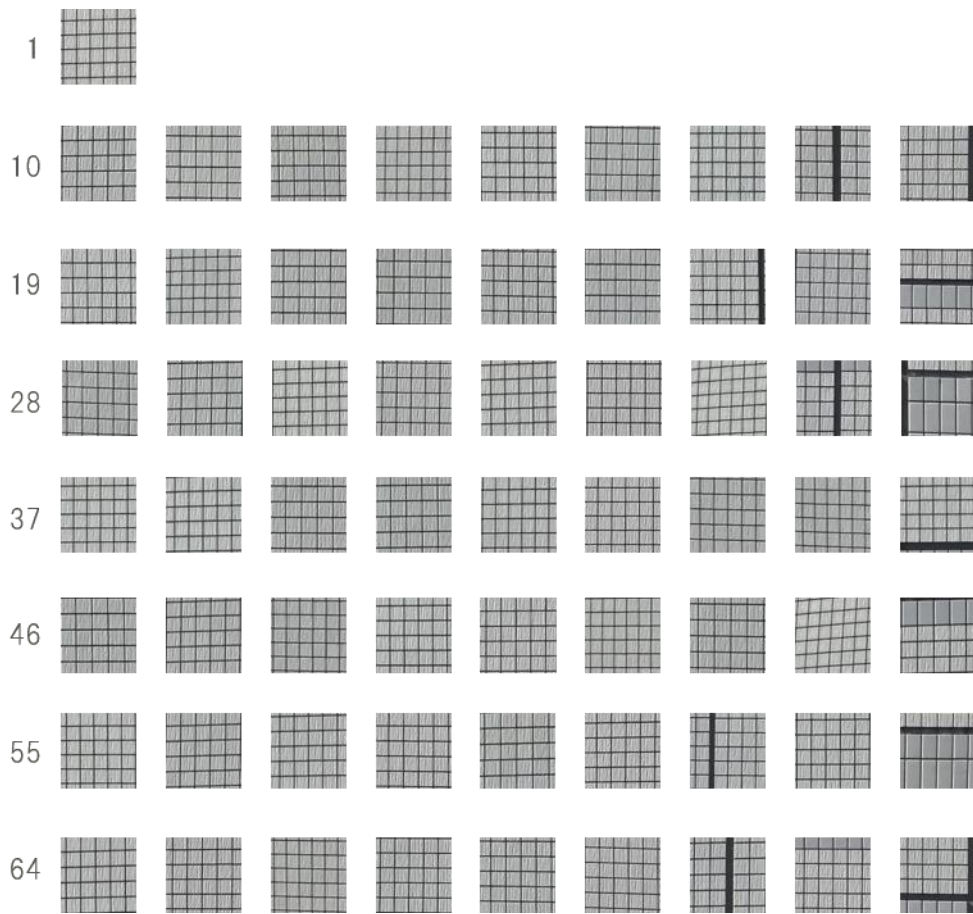
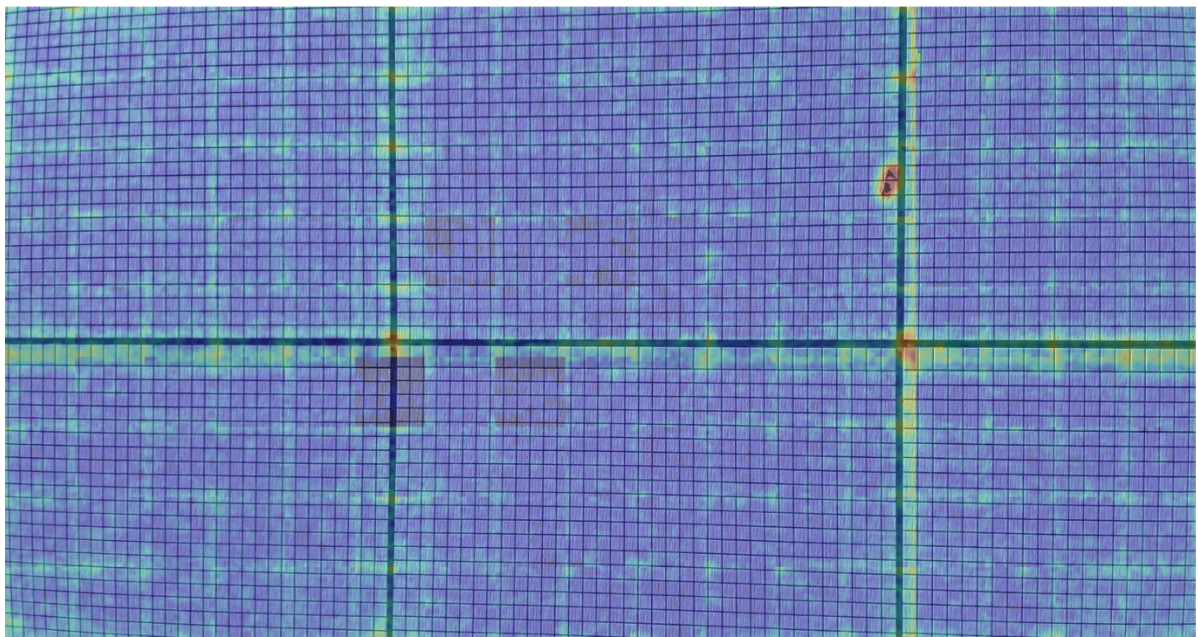
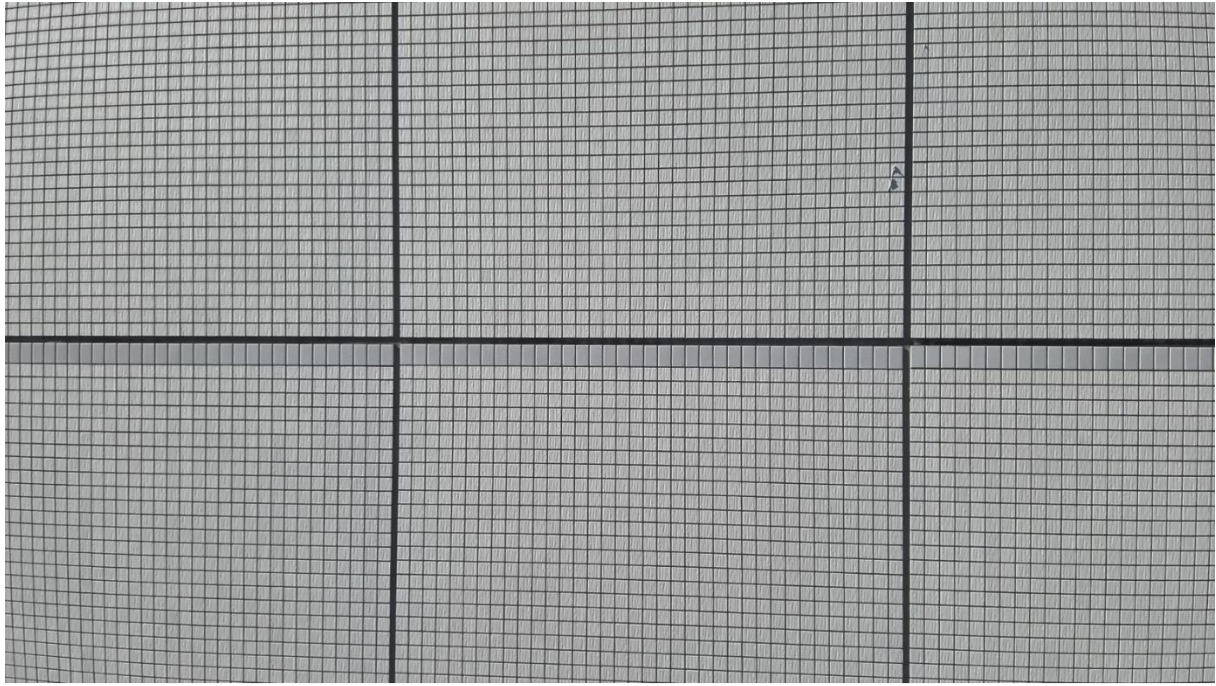


図 185 学習データ一覧（動画撮影）



上段：撮影データ
下段：オーバーレイ画像

図 186 解析結果サンプル（動画撮影）

c) 動画撮影データへの適用性

検出率や解析結果サンプルの結果から、動画撮影データに対しても AI 解析が適用可能であることが確認できた。なお、異常データ（特定異常）の数が動画の方が多く理由は撮影範囲の重なりによって同じ異常箇所が 2 枚の元画像に映っていたためである。

d) 基本実証との比較

スクリーニング率においては基本実証に及ばない結果となった。

ただし、本実証においてはドローンの動画撮影が 4K 画質となるため、8K 静止画の基本実証と比較した際に、映像フォーマットの違い（動画か静止画か）の他に、画像解像度の違い（4K か 8K か）という 2 つの差異がある。スクリーニング率に影響を与えた要素を特定することは今回得られた結果からは困難であるが、画像データを目視で比較した印象として、画像解像度の違いが大きいと考えている。基本実証の考察において、異常スコアの数値は異常の大きさに影響されることを述べた。画像解像度の違いは、画像データ持つ物理的解像度に直結するため、AI 解析への影響も大きいものと推測している。同じ異常箇所を 4K 動画と 8K 静止画の 2 種類の撮影方法で比較したとき、4K 動画撮影で得られたデータ内の異常箇所の大きさは 8K 静止画撮影で得られたデータ内の異常箇所の大きさの 0.5 倍となる。

② ズーム撮影の可能性実証

4K ズーム撮影データを基に作成した画像データに対して AI 解析を行い、基本実証結果と比較した。クラックスケールの画像を基に、物理的解像度の向上による異常の検出性能向上の可能性について検討する。

a) AI 解析結果

画像データに対して AI 解析を実施した結果を表 107、図 187～図 189 に示す。以下の各項目について、基本実証との差異を述べる。

I. 解析結果ヒストグラム

● ズーム 2 倍

学習データのヒストグラムでは 2 つのピークがあることが確認できる。一方で正常データのヒストグラムにおいてピークは 1 つのみであり、基本実証と同様の形状が確認できる。

● ズーム 8 倍

正常データのヒストグラムが基本実証と比較して太い形状を示した。

II. 検出率

撮影範囲内に特定異常が見つけれなかったため検出率（特定異常）は取得できなかった。

III. スクリーニング率

ズーム 2 倍は 0.603 と基本実証の結果の 1.1 倍程度という結果が得られた一方で、ズーム 8 倍は 0.266 と基本実証の結果の 0.5 倍程度となった。

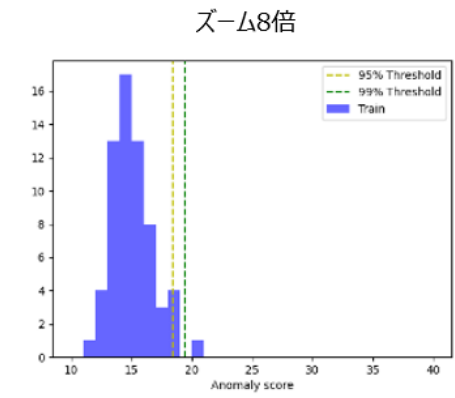
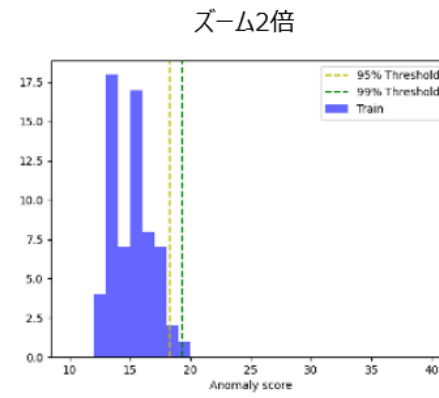
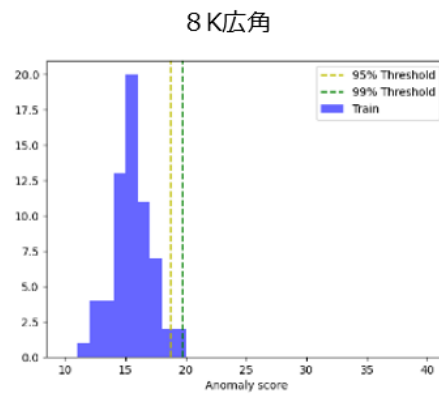
IV. 学習データ数

ズーム 8 倍の学習開始時の正常データヒストグラムは大きく右に偏っており、データ数増加の過程で基本実証同様の形状に近づく過程が確認できる。

表 107 解析結果（ズーム撮影）

項目		8K 広角 (基本実証 東面 3.6m)	4K ズーム 2 倍	4K ズーム 8 倍
全画像データ数		9,100	3,536	10,608
正常データ数		7,704	3,301	10,054
異常データ数（特定異常）		1	0	0
異常データ数（全体）		31	26	25
学習データ数		64	64	64
95% 閾値	検出率 （特定異常）	1	-	-
	検出率 （全体）	1	1	0.960
	スクリーニング率	0.528	0.603	0.266
99% 閾値	検出率 （特定異常）	1	-	-
	検出率 （全体）	1	1	0.960
	スクリーニング率	0.699	0.745	0.396

学習データの
解析結果ヒストグラム



対象データの
解析結果ヒストグラム

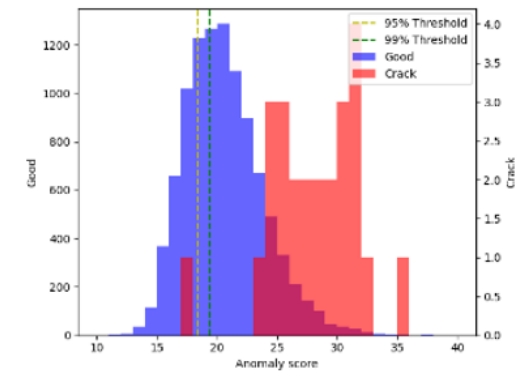
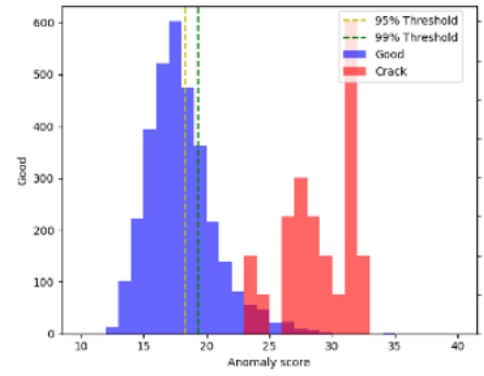
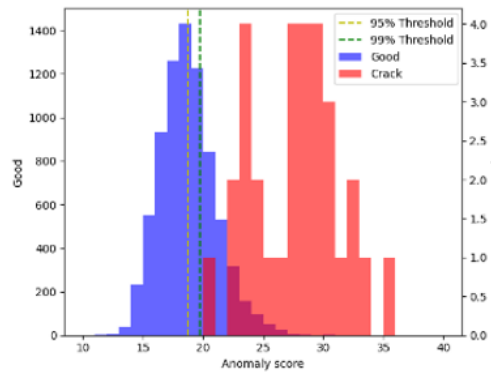


図 187 解析結果ヒストグラム

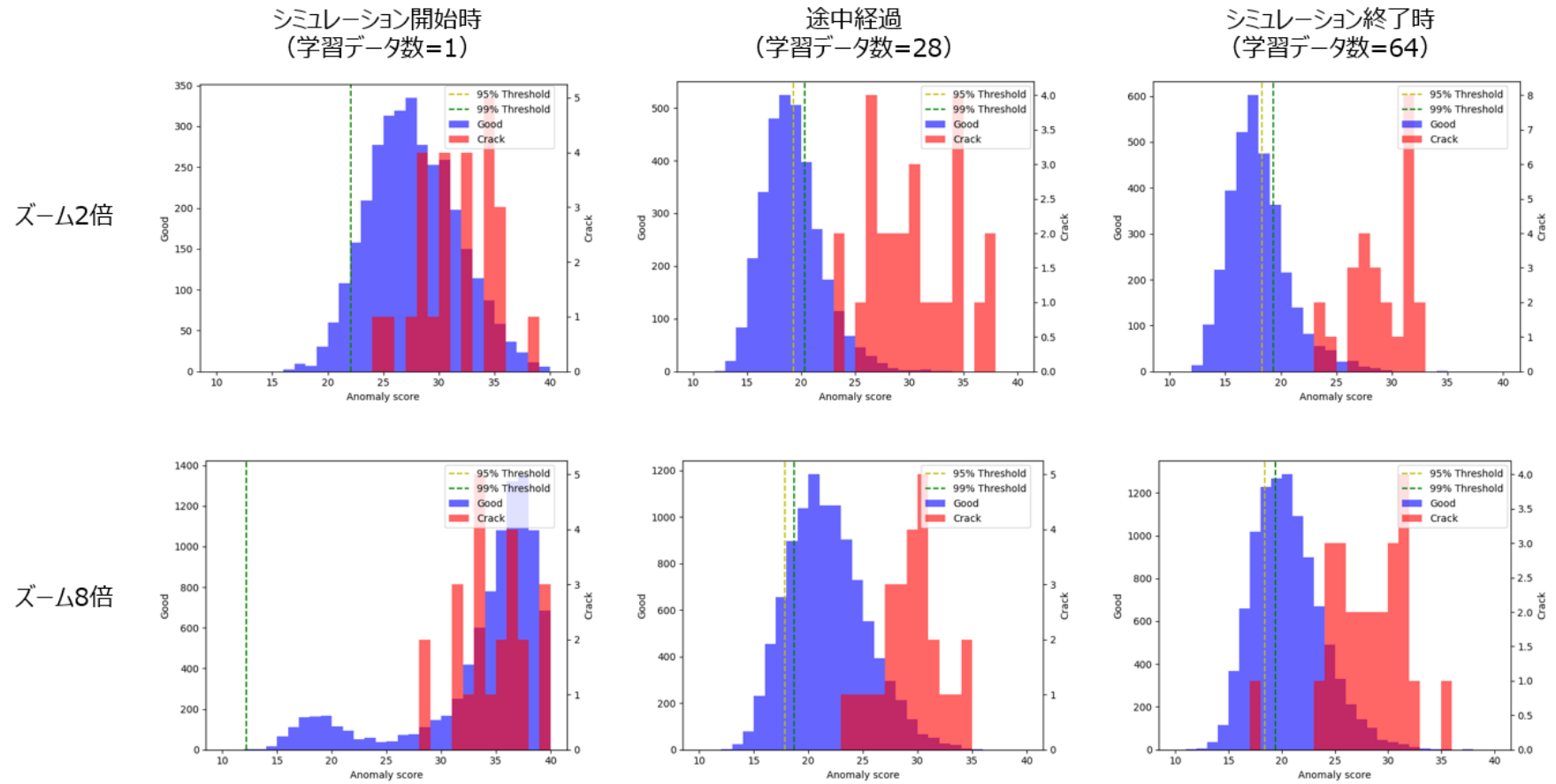


図 188 対象データの解析結果ヒストグラムの推移

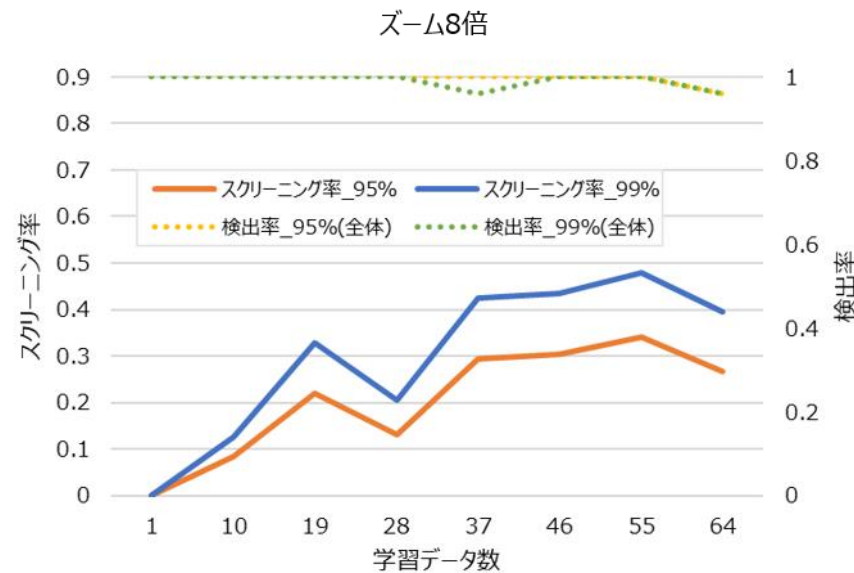
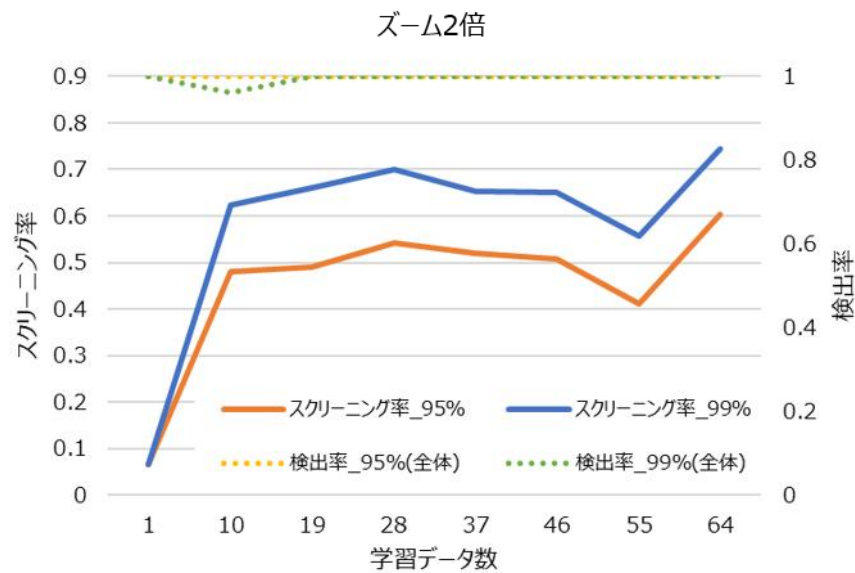


図 189 検出率とスクリーニング率の推移（ズーム撮影）

b) AI 解析結果画像

以下の通り、画像データに対して AI 解析を行った結果の画像を示す。

- “2.1.5(2)c)“学習”~ “2.1.5(2)e)“学習データの追加”までを 8 回繰り返し得られた学習データを示す。同時に追加された学習データは同じ行に記しており、追加時に異常スコアの低かった順に左側から並べる。
- 元画像とスクリーニング処理後画像とオーバーレイ画像
解析結果のサンプルとして、元画像とそれを基に作成したスクリーニング処理後画像、及びオーバーレイ画像を示す。

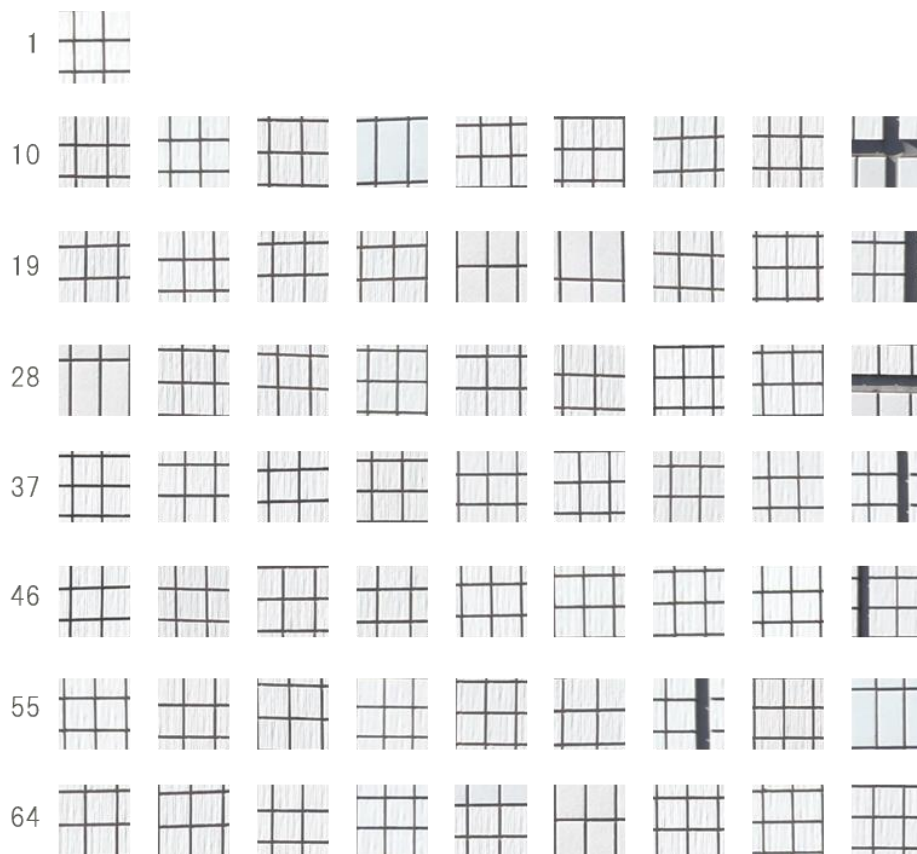
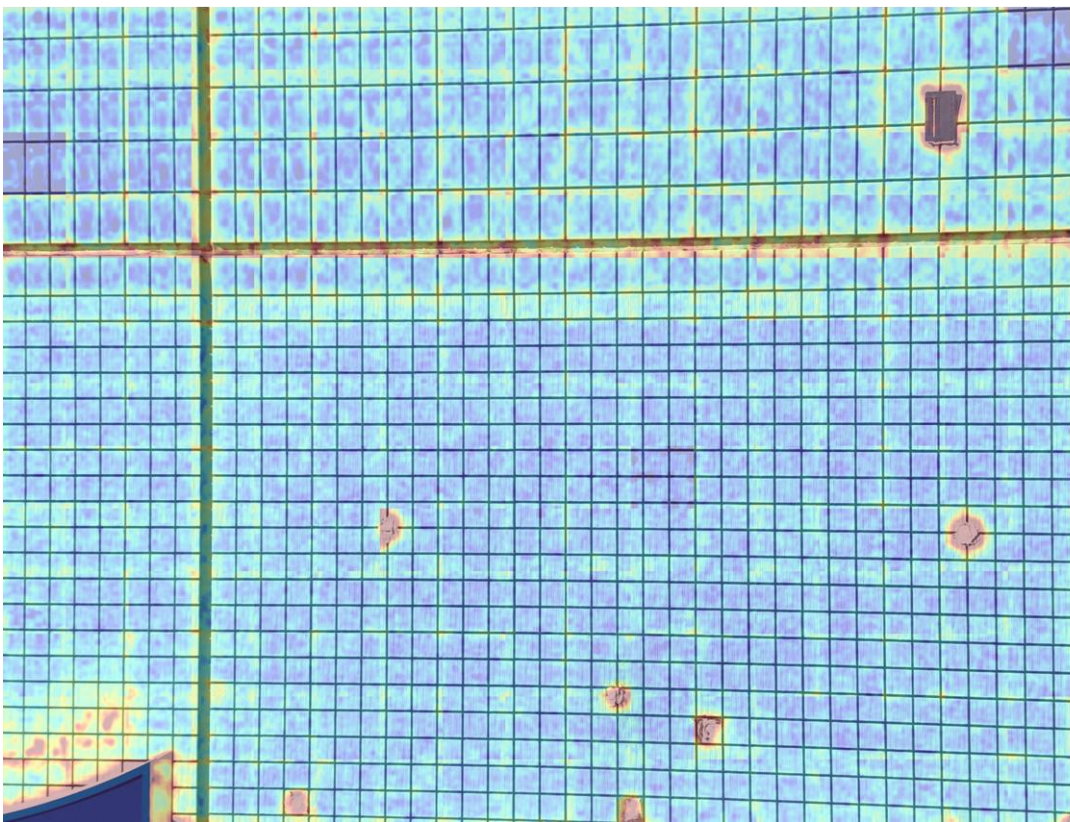


図 190 学習データ一覧 (ズーム 2 倍)



上段：撮影データ

下段：オーバーレイ画像

図 191 解析結果サンプル（ズーム 2 倍）

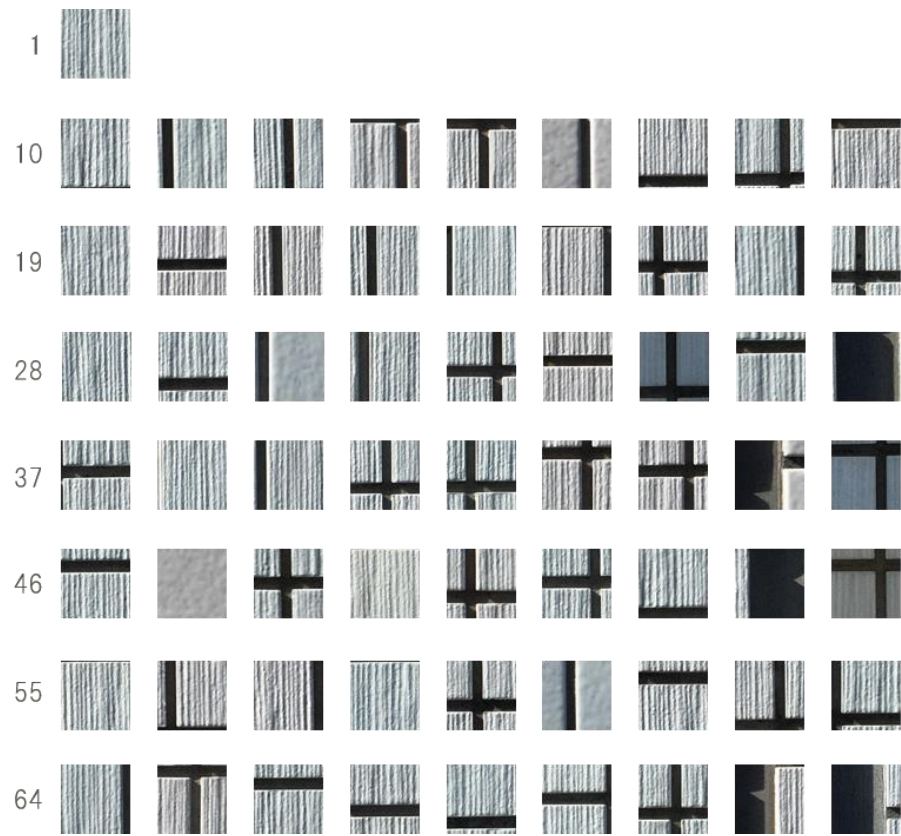
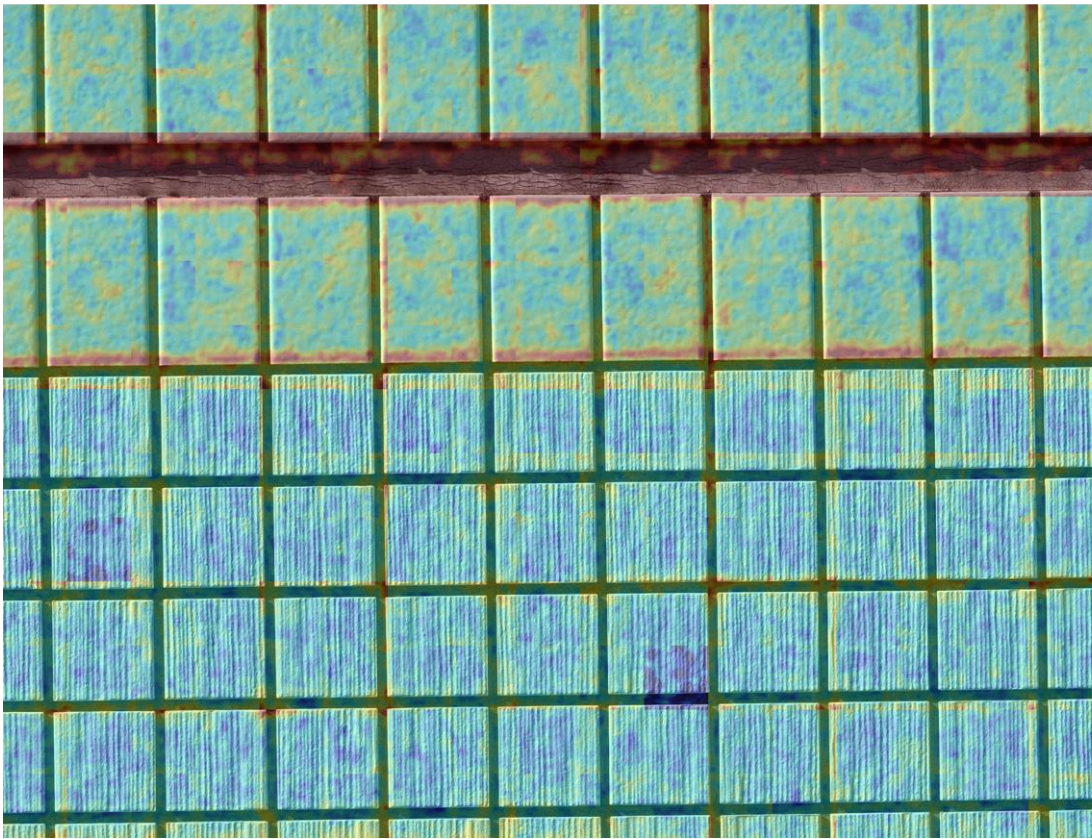


図 192 学習データ一覧 (ズーム 8 倍)



上段：撮影データ

下段：オーバーレイ画像

図 193 解析結果サンプル（ズーム 8 倍）

表 108 クラックスケールの画像比較（8K 広角、4K ズーム 2/4/8 倍）

	8K広角	4Kズーム2倍	4Kズーム4倍	4Kズーム8倍
同一範囲の画像比較 表示範囲[px × px] 8K, 2倍: 224 × 224 4倍: 448 × 448 8倍: 896 × 896				
画像データサイズでの比較 表示範囲[px × px] 224 × 224				

c) 基本実証との比較

ドローンの撮影位置が同じである基本実証の東面 3.6m を比較対象としたが、ズームの影響によって撮影範囲は基本実証よりも小さくなっているため、ズーム撮影の方が撮影範囲が狭くなっていることに留意されたい。ズーム撮影の撮影範囲には、特定異常は発見できなかった。

● ズーム 2 倍

基本実証よりもスクリーニング率が高い結果となった。理由として、基本実証の撮影は広角レンズで撮影されており、画像の四隅の収差の影響が見られた。一方でズーム撮影の場合は広角レンズではないため、この収差の影響がなく、画像データのバリエーションが少なくなったことが原因であると考えられる。なお、ズーム撮影の解像度は基本実証（8K 静止画）と異なり 4K であり、ズーム 2 倍の画像データの物理的解像度はズーム倍率を考慮すると基本実証の画像データと同じである。

● ズーム 8 倍

基本実証よりもスクリーニング率が低い結果が得られた。また、ヒストグラムを見ると、対象データのばらつきが大きいことが確認できる。これは、ズームされたことでタイル表面部のテクスチャが鮮明に表示され、テクスチャのパターンが増加したことが原因であると考えられる。

本実証においてはデメリットのみが確認出来た結果となったが、高倍率ズームの活用によって小さい異常が画像上で視認可能となる、または画像上でより大きく表示されることによる AI の検出性能改善の可能性はある。詳細は“3.2.4(2)②d)”にて述べる。

d) 検出性能向上に関する検討

ズーム撮影の解像度は静止画撮影と異なり 4K であるため、ズーム倍率を考慮した画像データの物理的解像度は、基本実証の 8K 静止画撮影の画像データと比較し

て以下のようになる。

- ズーム 2 倍 : 1 倍
- ズーム 4 倍 : 2 倍
- ズーム 8 倍 : 4 倍

基本実証の結果から、異常箇所の大きさと異常スコアには正の相関の関係があると推測される。そのため、ズーム撮影によって異常箇所が大きくなることで発見できる異常が存在すると考えている。具体的には以下の 2 種類の異常を考えている。

- 画像に映っているが、小さいため正常と判断されてしまった異常箇所
北面（図 171）にて多く見られた特徴であり、異常スコアが大きくなることで異常として検出できるようになる可能性がある。
- 基本実証の画像では確認できなかった、タイルのひび割れなどの細かい異常
双眼鏡では発見できたが、画像上では視認できなかった異常箇所（図 153）がズーム撮影によって視認可能となる可能性がある。クラックスケールの画像からも、8K 広角撮影やズーム 2 倍撮影では視認できない 0.1mm の線がズーム 8 倍撮影では視認可能となった。

今回は撮影範囲に上記に該当する異常箇所が確認できなかったため、異常データ選定の際に実際には異常としない細かい傷や光の加減も異常とすることで、模擬的に小さい異常の検出性能を実証した。その結果、検出率（全体）及びクラックスケール上で視認不可であった線が視認可能となったことを根拠としてこのような検討結果となった。一方で、ズーム倍率と撮影範囲は反比例の関係にある（ $(\text{ズーム倍率}) / (\text{撮影範囲}) = 1$ ）ため、撮影範囲と検出可能な異常の大きさはトレードオフの関係にあるといえる。そのため、今後の運用において、撮影時のズーム倍率は目的に応じた調整項目となる。

③ 撮影距離に関する検討

評価を行うために十分な撮影データが確保できなかったため、AI 解析による実証の対象外とした。

④ 傾き撮影の適用実証

8K 傾き撮影データを基に作成した画像データに対して AI 解析を行い、同じ撮影範囲の基本実証結果と比較した。

a) AI 解析結果

画像データに対して AI 解析を実施した結果を表 109、図 194～図 196 に示す。以下の各項目について、基本実証（東面 3.6m/4m/5m）との差異を述べる。

I. 解析結果ヒストグラム

学習データの分布範囲が広い結果となった。また、学習データの異常スコアのピーク値が 1～2 高く、正常データも同様に基本実証よりもピーク値が高い。

II. 検出率

検出率（特定異常）は 1 であった。

III. スクリーニング率

スクリーニング率は 0.405 と基本実証の東面で最も低い東面 5m よりも低い（0.9 倍程度）結果が得られた。

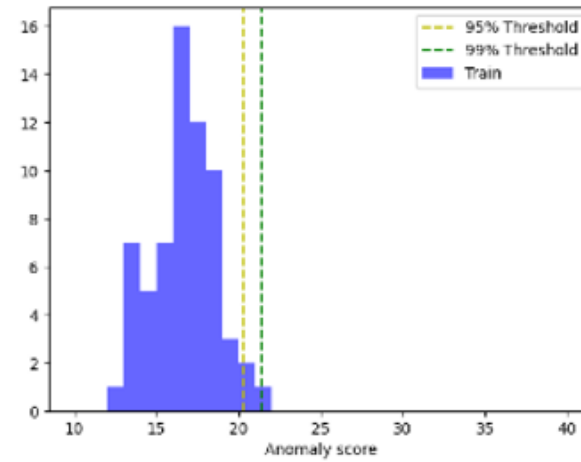
IV. 学習データ数

基本実証と比較して変化量は小さいが、学習データ数の増加に伴ってスクリーニング率が向上する傾向が確認できる。

表 109 解析結果（傾き撮影）

項目		傾き撮影
全画像データ数		57,460
正常データ数		42,699
異常データ数（特定異常）		5
異常データ数（全体）		78
学習データ数		64
95% 閾値	検出率（特定異常）	1
	検出率（全体）	0.936
	スクリーニング率	0.405
99% 閾値	検出率（特定異常）	1
	検出率（全体）	0.885
	スクリーニング率	0.585

学習データの
解析結果ヒストグラム



対象データの
解析結果ヒストグラム

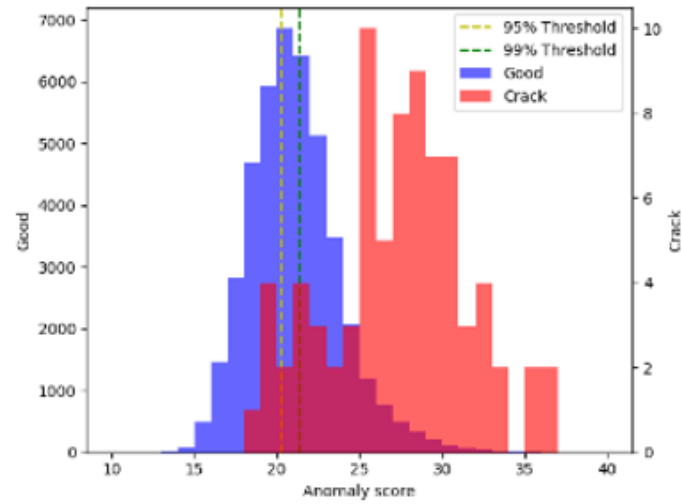


図 194 解析結果ヒストグラム

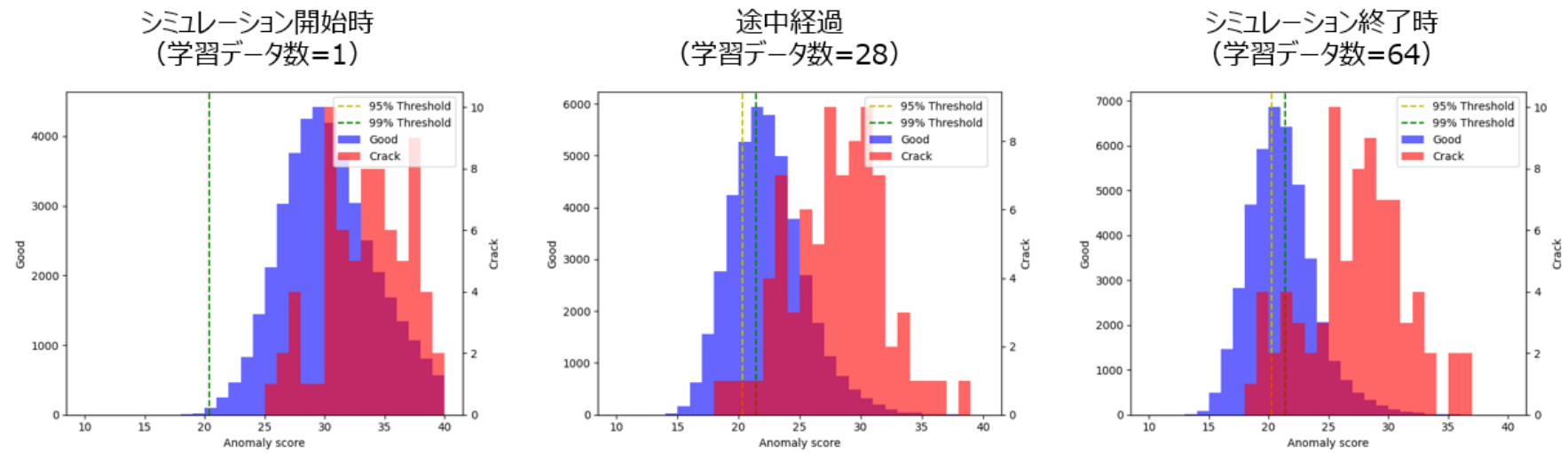


図 195 対象データの解析結果ヒストグラムの推移

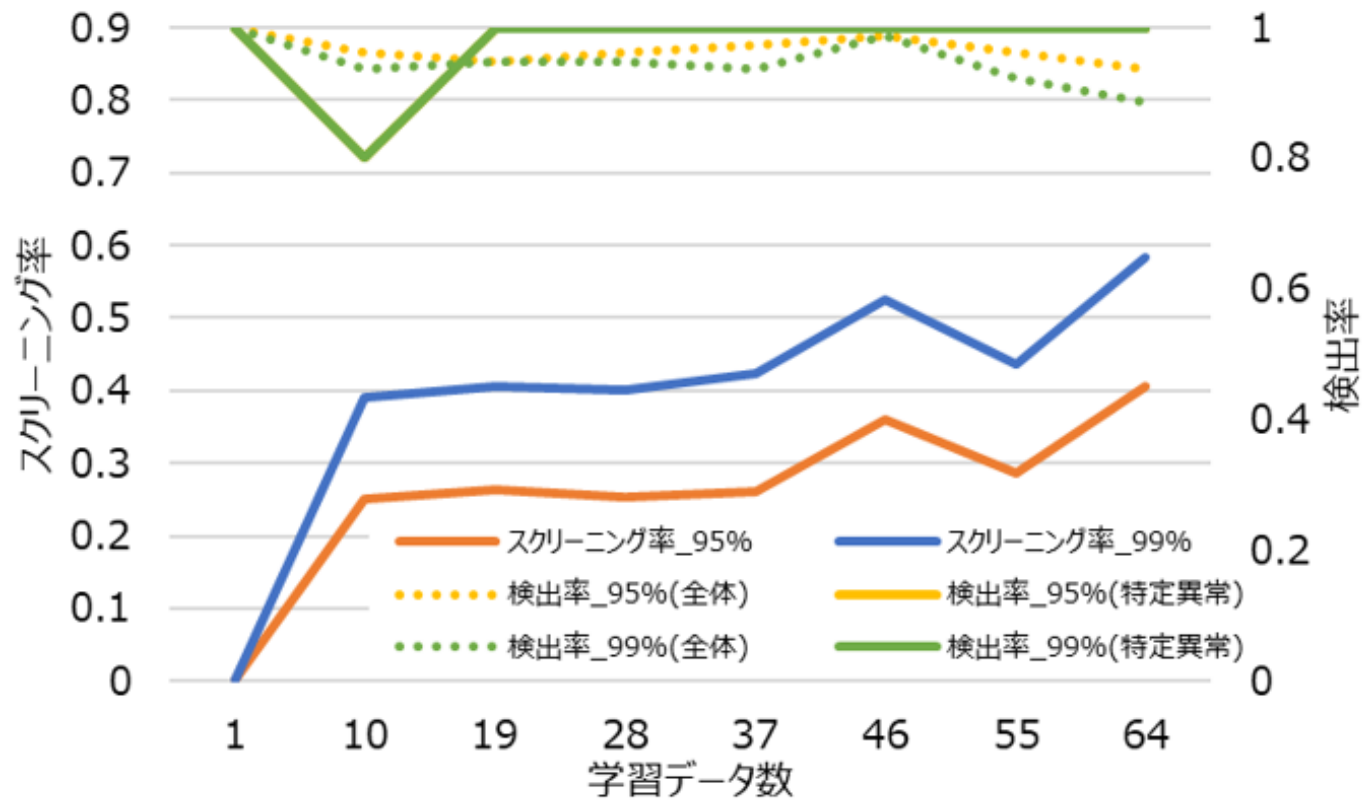


図 196 検出率とスクリーニング率の推移

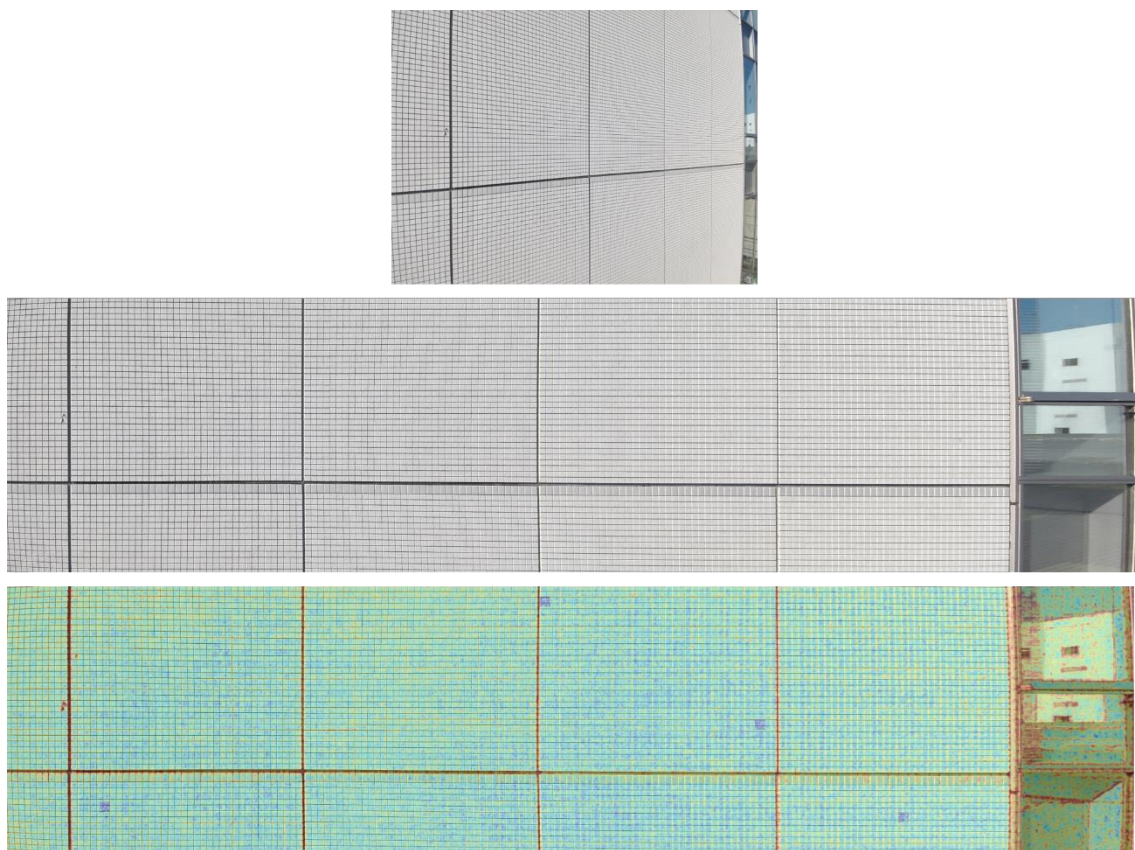
b) AI 解析結果画像

以下の通り、画像データに対して AI 解析を行った結果の画像を示す。

- “2.1.5(2)c)“学習”~ “2.1.5(2)e)“学習データの追加”までを 8 回繰り返し得られた学習データを示す。同時に追加された学習データは同じ行に記しており、追加時に異常スコアの低かった順に左側から並べている。
- 元画像とオーバーレイ画像
解析結果のサンプルとして、元画像とそれを基に作成したオーバーレイ画像を示す。

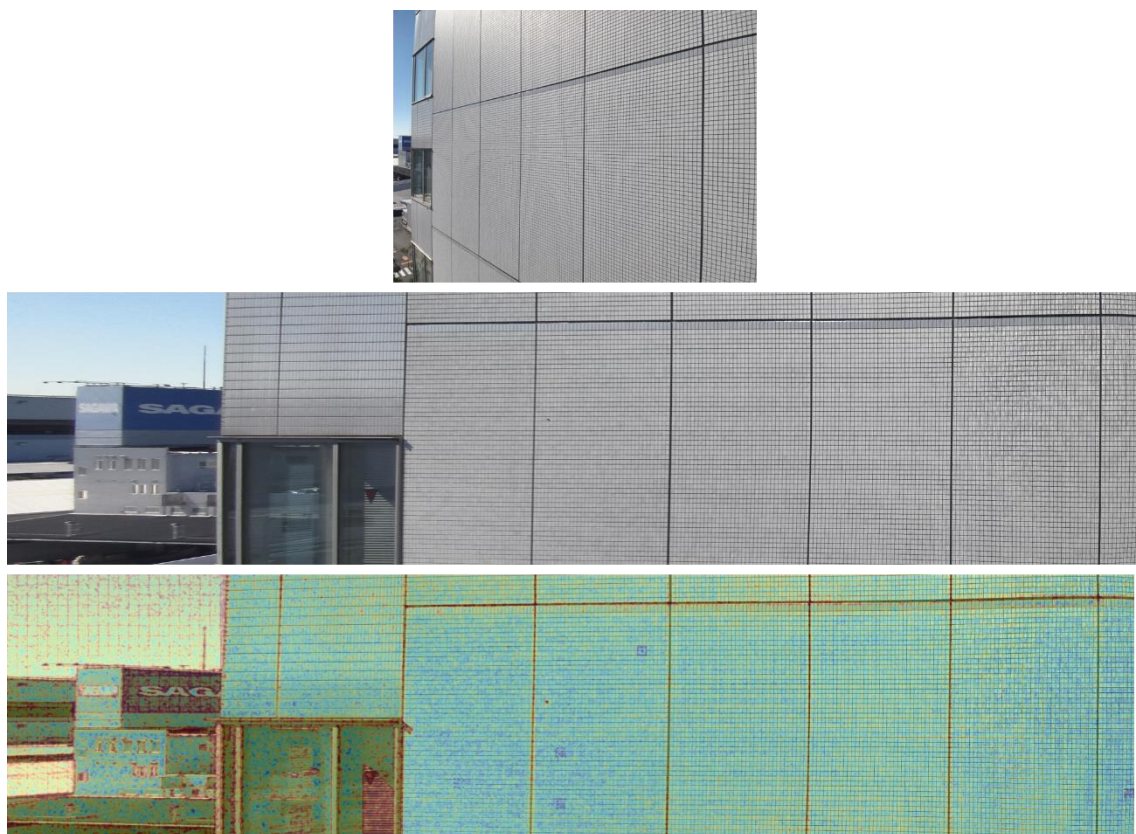


図 197 学習データ一覧（傾き撮影）



上段：傾き撮影データ
中段：傾き撮影データを基に作成した画像データ
下段：オーバーレイ画像

図 198 解析結果サンプル（傾き撮影 右向き）



上段：傾き撮影データ
中段：傾き撮影データを基に作成した画像データ
下段：オーバーレイ画像

図 199 解析結果サンプル（傾き撮影 左向き）

c) 基本実証との比較

検出率（特定異常）において差はない結果となった。しかし、解析結果サンプルからわかるように、左向き撮影の最も右の目地を除き、すべての目地の異常スコアが高く表示されている。学習データには目地が含まれているため、学習データに含まれていても異常として認識されてしまう、本実証の特有の結果が得られた。理由として台形補正による引き延ばしの影響が最も大きいと考えており、左向き撮影の画像を例として引き延ばしによる影響の大きい箇所と小さい箇所の画像データを図 200 示す。引き延ばしの影響が小さい、元画像の右側から取得した画像データは基本実証と同様に壁面が鮮明に映されている一方で、元画像の左側、引き延ばしの大きい箇所の画像データでは、縦向きの線が潰れてしまっている。図 197 の学習データに使われている目地の画像からもわかる通り、引き延ばしで潰れないような縦向きの目地は輪郭がぼやけた形で映されている。そのため、目地付近の正常系の学習はうまく行っていないのが実情であり、改善が必要な箇所である。

引き延ばしの影響が大きい箇所は、ドローンからの距離が遠い箇所と言い換えることができる。そのため、引き延ばしの影響の軽減のため、②で実証したズーム撮影の併用が改善案として挙げられる。ただし、撮影の角度の問題で目地の奥側が映らなくなることは避けられない。

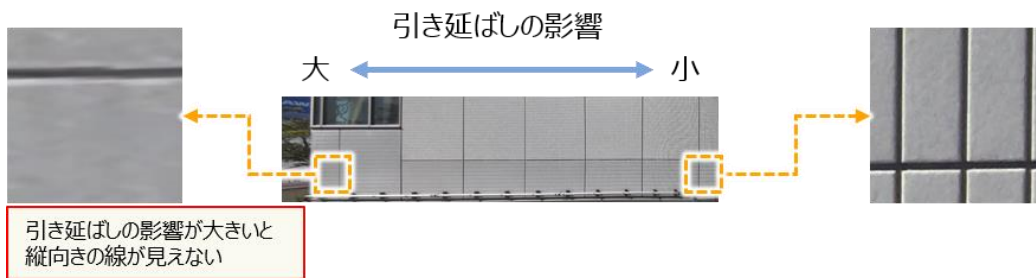


図 200 画像データの比較（左向き傾き撮影）

⑤ 異なる壁面素材の適用実証

異なる壁面素材の画像データを対象データとして AI 解析を行い、同じ撮影範囲の基本実証結果と比較した。本実証の対象とした壁面素材においても検出が問題なく行えたため、さらに基本実証にて対象としたタイル面も対象データに追加して AI 解析を行い、複数の壁面素材で構成される壁面に対する AI 解析の実証を実施した。

a) AI 解析結果

画像データに対して AI 解析を実施した結果を表 110、図 201～図 203 に示す。以下の各項目について、基本実証（西面）との差異を述べる。

I. 解析結果ヒストグラム

● セメント面

異常スコアのピーク値が基本実証と比較して 6 低く、ピークのデータ数も約 2 倍である。

● セメント面とタイル面

基本実証と同様の形状が確認できる。

II. 検出率

検出率（特定異常）は共に 1 であった。

III. スクリーニング率

● セメント面

0.233 と基本実証の結果の 0.5 倍程度となった。

● セメント面とタイル面

0.470 と基本実証の結果の 1.1 倍程度となった。

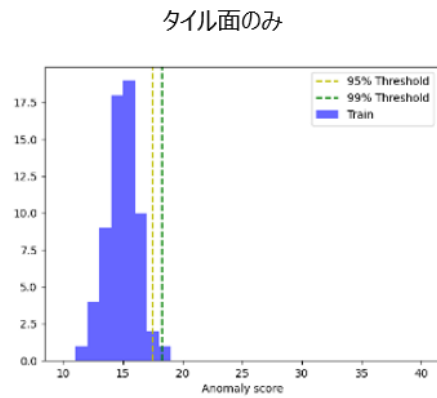
IV. 学習データ数

セメント面のスクリーニング率の推移が学習データのたびに上下している形状が確認できる。セメント面とタイル面については基本実証と同様の形状であった。

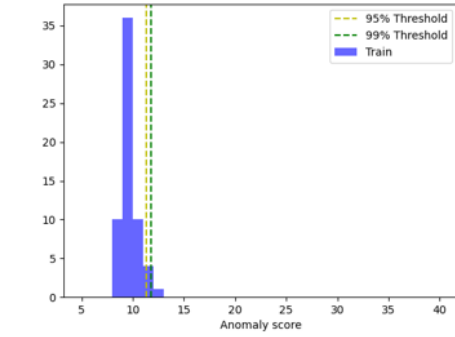
表 110 解析結果（異なる壁面素材）

項目		タイル面のみ対象 (基本実証 西面)	セメント面のみ対象	タイル面とセメント面 が対象
全画像データ数		55,510	12,740	55,510
正常データ数		42,039	6,854	48,909
異常データ数（特定異常）		10	20	30
異常データ数（全体）		89	45	134
学習データ数		64	61	64
95% 閾値	検出率 （特定異常）	0.900	1	1
	検出率 （全体）	0.910	1	0.918
	スクリーニング 率	0.429	0.233	0.470
99% 閾値	検出率 （特定異常）	0.800	1	1
	検出率 （全体）	0.888	1	0.881
	スクリーニング 率	0.582	0.370	0.625

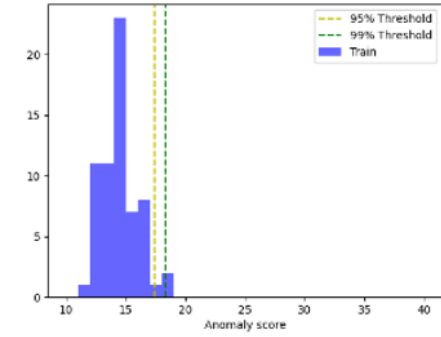
学習データの
解析結果ヒストグラム



セメント面のみ



セメント面とタイル面



対象データの
解析結果ヒストグラム

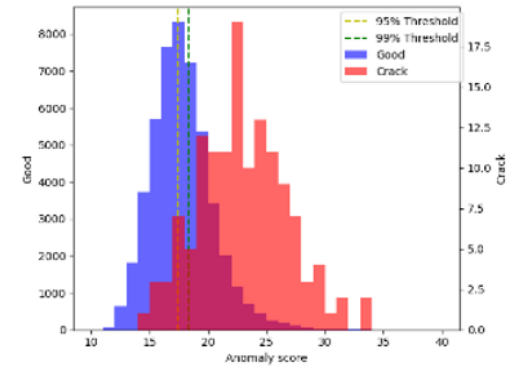
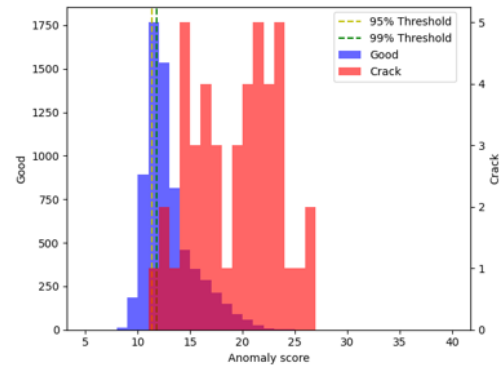
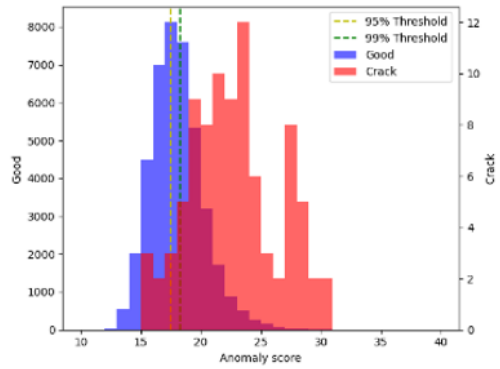


図 201 解析結果ヒストグラム（異なる壁面素材）

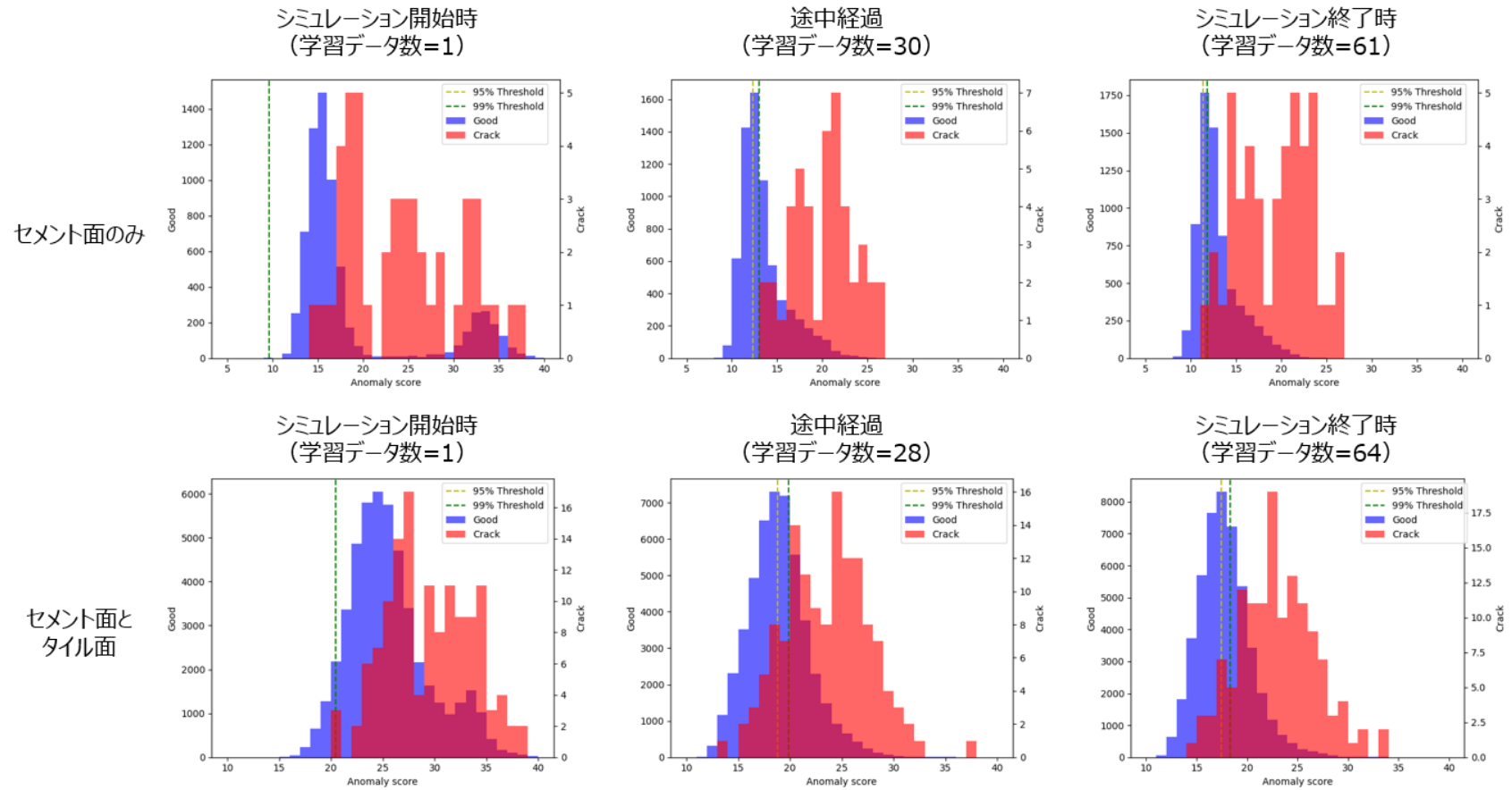


図 202 対象データの解析結果ヒストグラムの推移

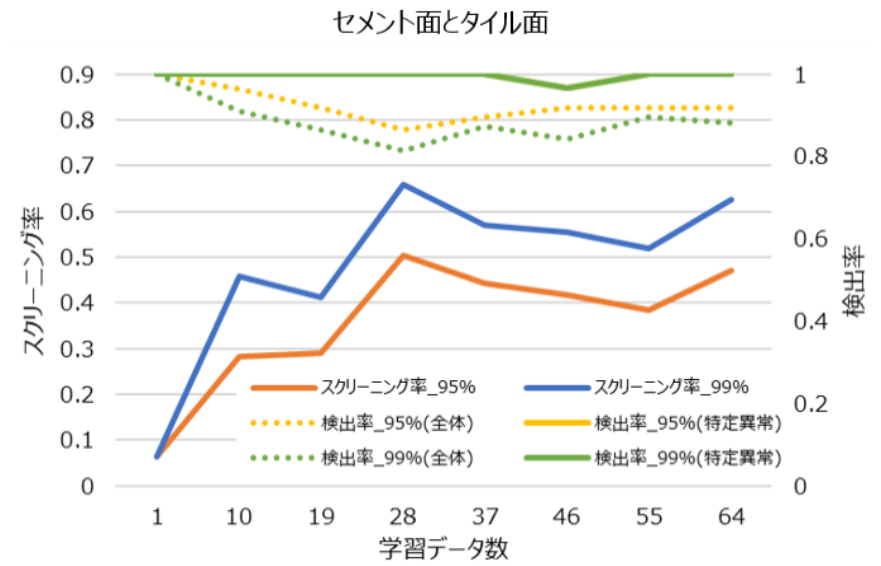
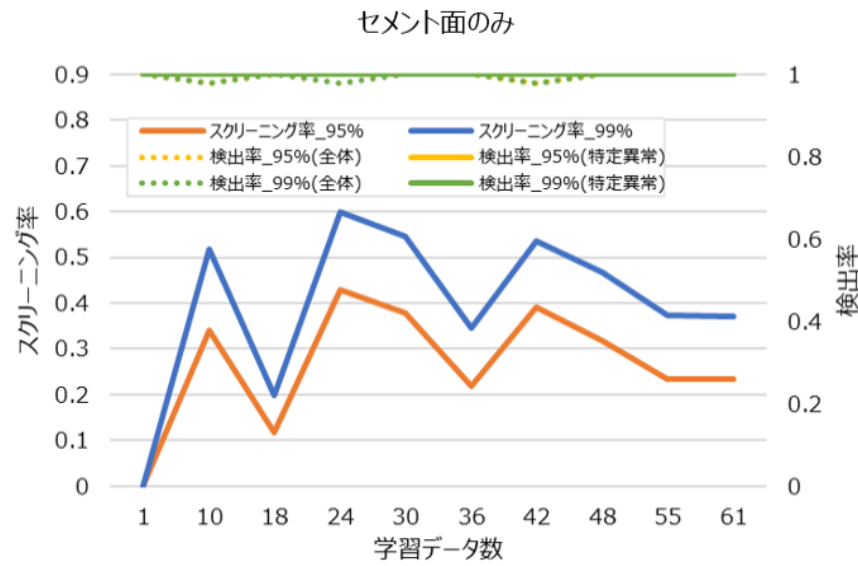


図 203 検出率とスクリーニング率の推移（異なる壁面素材）

b) AI 解析結果画像

以下の通り、画像データに対して AI 解析を行った結果の画像を示す。

- “2.1.5(2)c”学習”～ “2.1.5(2)e”学習データの追加”までを 8 回繰り返して得られた学習データを示す。同時に追加された学習データは同じ行に記しており、追加時に異常スコアの低かった順に左側から並べている。
- 元画像とオーバーレイ画像
解析結果のサンプルとして、元画像とそれを基に作成したオーバーレイ画像を示す。

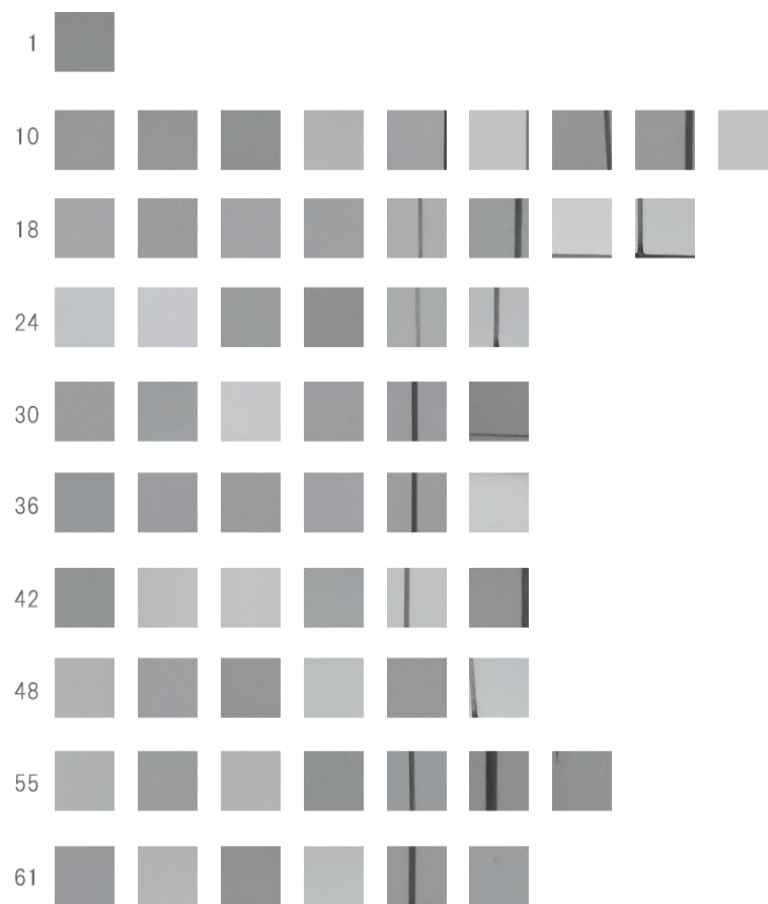


図 204 学習データ一覧（セメント面）

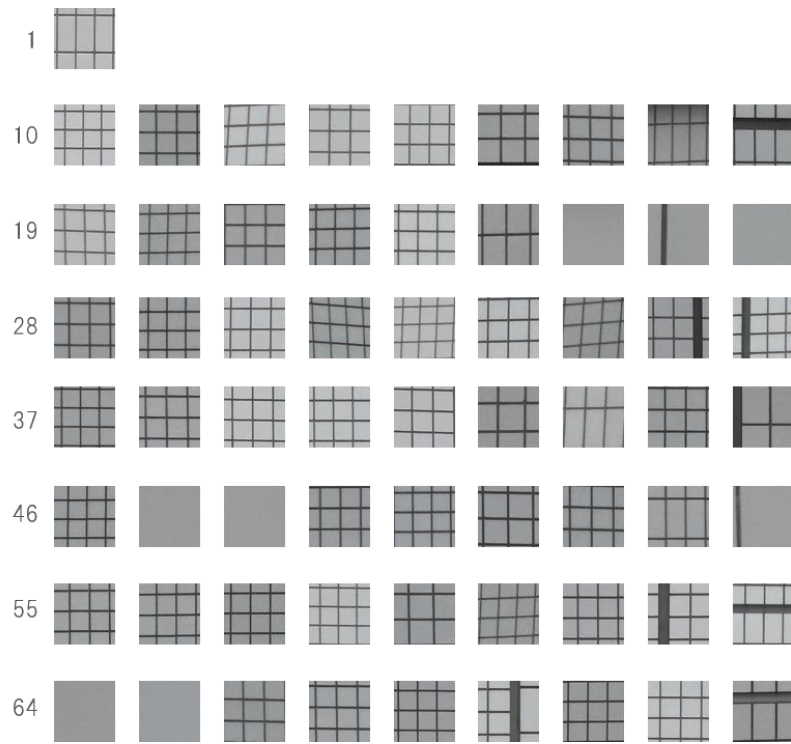
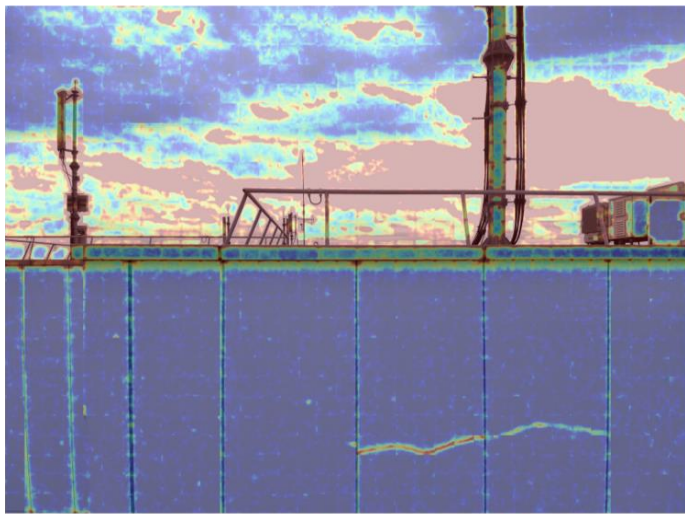


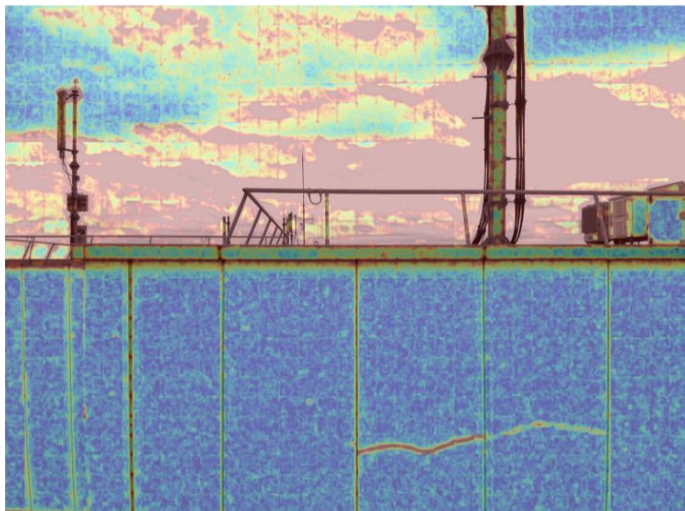
図 205 学習データ一覧 (セメント面とタイル面)



セメント面
のみ学習



セメント面と
タイル面を
学習



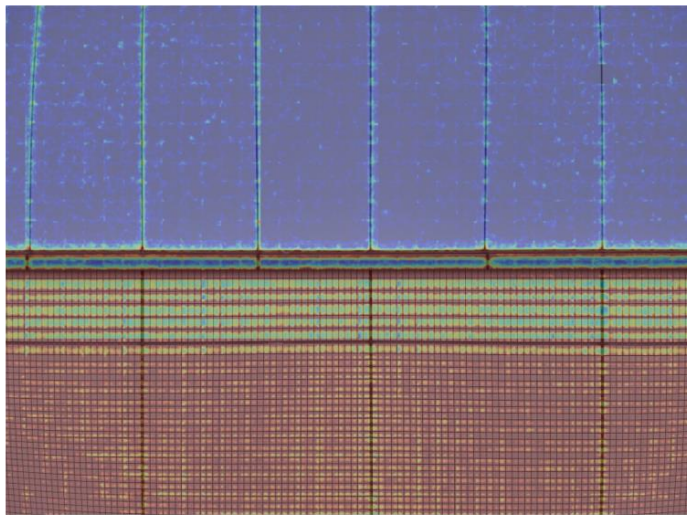
上段：撮影データ

中段・下段：オーバーレイ画像

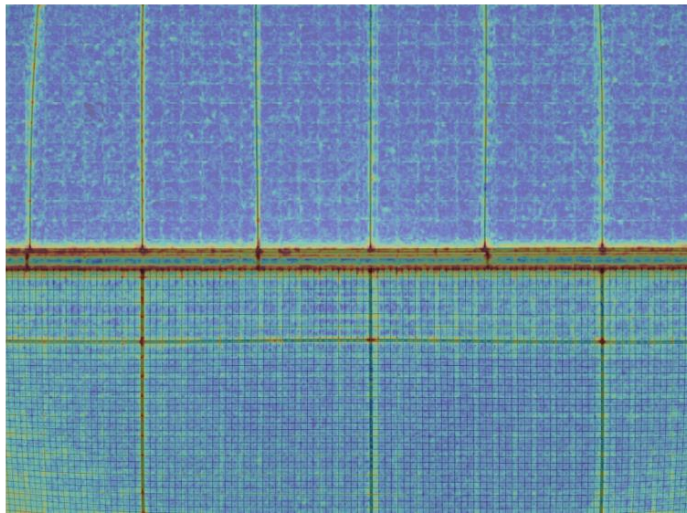
図 206 解析結果サンプル（西面 セメント面）



セメント面
のみ学習



セメント面と
タイル面を
学習



上段：撮影データ
中段・下段：オーバーレイ画像

図 207 解析結果サンプル（西面 セメント面とタイル面）

c) 基本実証との比較

- セメント面のみ

正常データの解析結果ヒストグラムの推移を見ると、学習データ数 30 から 61 の間で変化が見られず、学習データ 30 枚で学習が収束したことが確認できる。セメント面はタイル面と比較して網目模様がなく、テクスチャのパターンが少ないためタイル面よりも少ない学習データ数で学習が収束したものと考えられる。

スクリーニング率が低い要因として、学習データの分散が低く、信頼区間の範囲が小さくなった。基本実証と同様に正常データと比較して学習データのピークは低い値を示しているため、閾値が正常データに対して低い値となってしまったものと考えられる。

スクリーニング率は低いものの、解析結果ヒストグラムからは正常データと異常データの分離状況が確認でき、解析結果サンプルからも正常なセメント面が青く、特定異常箇所であるひび割れが赤く強調されていることが確認できるため、本実施項目で扱ったようなセメント面への AI 解析の適用は可能である。

- セメント面とタイル面

基本実証よりも検出率とスクリーニング率共に優れた結果となった。基本実証において検出できなかった異常は、目地の中の異常であったが、今回の AI 解析結果において目地自体が異常スコアの高い結果を示した。そのため、検出率向上の理由はセメント面の追加によって学習データ内の目地の割合が下がったためであると考えられ、セメント面の特徴を学習したことで目地の検出に影響があったということではないと認識している。一方で、スクリーニング率においては、セメント面はタイル面と比較して異常スコアが低い値を示したことから、正常と判断されやすいセメント面の追加が直接的にスクリーニング率の向上に寄与したものと考えられる。

d) 適用範囲

本実施項目の結果から、タイル面のほか、セメント面においても AI 解析は適用可能であるという結果が得られた。これにより、以下の特徴を持った壁面であれば本実施項目で用いた AI 解析が適用可能と推測される。ただし、現状で確認できたのは 2 種類の素材のみであるため今後も追加の実証が必要となる。

- テクスチャ（模様）に周期性がある

画像データ上で共通するテクスチャのパターンが得られることが最も重要である。タイル面であれば格子の向き、大きさが一定であった。セメント面は一様なテクスチャであるため、画像データ上では共通したテクスチャが得られる。

本実証で用いた AI 解析は、学習データとして与えられた特徴を正常として学習する。テクスチャに周期性がなく、画像データの内多数に共通したパターンが存在しない場合、画像データ内の正常データ全てを学習データに加えることになるため、適用不可能である。

- 光沢がない（反射しない）

テクスチャの周期性と同様の理由であるが、今回得られた画像データを確認すると、ビル壁面の窓にドローンや周辺ビルなどが反射して映っている様子が確認で

きた。このような箇所はテクスチャの周期性が失われるため、適用範囲外となる。
また、複数の壁面素材からなる壁面の解析を行う際には、テクスチャのパターンの種類が増加することを考慮して、学習データ数を増加させることが有効である。

(3) 省力性実証

(ア) 計測結果

a) 所要時間の計測結果

基本実証に要した時間を計測した。また、基本実証は比較対象として新木場ビル全面を対象として行った解析であるため、参考及び比較対象として、新木場ビル全面の目視点検とドローン撮影の所要時間も併せて取得した。前述の通り、AI 解析を活用した壁面検査に要する工程は、その内容によって以下の 2 種類に分けられる。

- ① 人によるオペレーション
- ② 計算機 (PC) 上の処理

点検方法ごとの作業工程とその所要時間を表 111 に示す。表の青色の工程は①に該当する工程、オレンジ色の工程は②に該当する工程である。

なお、それぞれの値は以下のように求めた。

① 人によるオペレーション

- 壁面目視点検
壁面の目視点検結果より、書類作成に要した時間を除いたものを使用した。
- ドローン撮影
ドローンの撮影結果より、基本実証と同じ面数、同じライン数で撮影した場合の所要時間を算出した。
- 学習データ選択
1 回の選択 (9 枚正常データが得られるまで画像データの判別を繰り返す作業) を 1 分と仮定し、1 面での想定学習データ追加回数 8 回、及び解析実施回数を掛け合わせたものを参考値とした。
- スクリーニング処理後壁面画像の診断
ラインごとに 1 枚ずつ、合計 25 枚の画像をサンプリングし、目視診断に要した時間を計測した。1 枚あたりの所要時間から基本実証に用いた画像枚数 (279 枚) の所要時間を算出した。
- 壁面画像の診断
スクリーニング処理後壁面画像の診断結果を基に、スクリーニング処理がなかった場合の所要時間を算出した。本実証において、適用範囲外箇所の中での小分類は行っていなかったため、窓や空などの背景も含めて適用範囲外箇所は全て目視で確認する必要があるものと考え、以下の通り時間削減率を定義した。スクリーニング処理後壁面画像の診断時間に対して、 $(1 - (\text{時間削減率}))$ を除算したものを参考値とした。

$$(\text{時間削減率}) = \frac{(\text{スクリーニングされた正常データ数})}{(\text{全画像データ数})}$$

② 計算機（PC）上の処理

表には計測結果をまとめて分単位で記載した。

● 画像データ生成

画像データ生成プログラム内に動作時間を計測する処理を追加して計測した。8K 元画像 50 枚から画像データを生成した際の時間から基本実証に用いた画像枚数（279 枚）の所要時間を算出した。

● AI 解析

AI 解析プログラム内に動作時間を計測する処理を追加して計測した。

● 画像出力

画像出力プログラム内に動作時間を計測する処理を追加して計測した。

表 111 作業工程と所要時間

点検方法		工程	所要時間	補足
現場での目視点検		壁面目視点検	4 時間 52 分	書類作成除く
ドローンによる点検	AI 解析なし	ドローン撮影	8 時間 4 分	ドローンによる点検で共通
		壁面画像の目視確認	24 時間 16 分	参考値
	AI 解析活用	ドローン撮影	8 時間 4 分	ドローンによる点検で共通
		学習データ選択	48 分	解析 1 回ごとに必要 1 分×8 回×6 解析
		画像データ生成 AI 解析 画像出力	7 時間 38 分	プログラム最適化・運用方法改善によって大幅に短縮可能 (ウ)時間効率改善
		スクリーニング処理後壁面画像の診断	16 時間 50 分	有資格者による試験を実施

: 人によるオペレーション
 : 計算機(PC)上の処理

解析に使用した計算機（PC）の基本構成を表 112 に示す。CPU と GPU の構成は所要時間にも影響し、検出率やスクリーニング率等の解析結果には影響しない。本 AI 解析プログラムを動作させるにあたって、学習データ数によってメモリの容量に制限が存在するものの、その他に専用の機械や高価・高性能なパーツなどは要しない。

表 112 解析用 PC の基本構成


項目	構成	備考
CPU	インテル® Core i5-9400F	計算機上の処理の所要時間に影響
GPU	NVIDIA GeForce RTX3060	計算機上の処理の所要時間に影響
メモリ	16GB (8GB × 2) @ 2666MHz	学習データの最大枚数に影響 8GB 環境では最大 40 枚程度
OS	Ubuntu 22.04.03 LTS	

b) 所要時間の定式化

撮影の前から所要時間の見積もりが取れるように、a)の結果を基に、AI 解析に必要な時間を単位当たりで算出した。結果を表 113 に示す。表の青色の工程は人による作業が必要となる工程、オレンジ色の工程は計算機によって自動化された工程である。

表 113 単位当たりの所要時間

工程	所要時間	補足
学習データ選択	480 秒	解析 1 回あたり
画像データ生成	0.7 秒	8K 画像 1 枚当たり
AI 解析	11.5 秒	8K 画像 1 枚当たり
画像出力	1.4 秒	8K 画像 1 枚当たり

 : 人によるオペレーション


 : 計算機(PC)上の処理

表 113 より、 x 種類の撮影条件で撮影された y 枚の 8K 画像を解析する場合の所要時間は $480x + 13.6y$ [秒]となる。

(イ) 有資格者による AI 解析結果画像による診断

AI 解析によるスクリーニング処理後の壁面画像について、画像診断を行った有資格者（特定建築物調査員）からのフィードバックと、それに対する考察を示す。

詳細については報告書の巻末「添付資料：特定建築物調査員 AI 解析結果画像を用いた診断結果・考察」に示す。

a) 有資格者からのフィードバック

- ① 画像を詳細に確認する作業では、1 枚の画像を拡大して詳細に確認した。画像の質としては、撮影時のカメラ設定を適切にすることや、撮影技術に左右される。また、解像度やセンササイズといったドローンのカメラ性能にも影響を受ける。そのため、今回 AI 診断に使用した画像は、カメラ設定の影響から、画像のブレやノイズといった影響が多くあったため、詳細な診断が難しかった。画像拡大時の画像も同様な事から、今回の診断では、タイルの破損を確認することができたものの、タイルのクラック等、細かい劣化の確認をすることが出来なかった。
- ② 診断時間として、画像全面にタイルが写っている場合とタイルだけでなく窓等が写っている場合では、確認部分の量に違いが出るため、前者の確認時間が長くなった。
- ③ AI によるスクリーニングした画像は、確認する場所が絞られるため、画像全体を確認

する必要がなく、画像確認の時間を短くすることができたと感じた。しかし、画像の中には、確認をする必要がない場所にも劣化があるように見え、画像診断の見逃しを引き起こす可能性もあると感じた。

- ④ 確認した画像を記録用紙や報告書(今回は、パワーポイント)に記録する際、画像のどの場所に劣化があったのか忘れてしまいタイムロスが生じた。これは、既存の点検と同様である。

b) フィードバックに対する考察

- ① ドローンの撮影における課題である。カメラ設定に基づく画像の鮮明さは、目視点検だけでなく、AI 解析においても影響が大きく、今後取り組むべき課題である。AI 解析における画像の鮮明さの影響については“3.2.4(1)(イ)e)”に示した通りである。
- ② 適用範囲外とした箇所の中には窓や空など、目視点検において確認の必要のない箇所が存在するが、“3.2.4(3)(ア)”にて示した通り、本実証においては区別していないため、“3.2.4(3)(ウ)”にて示す値は作業時間の削減効率を低く見積もった値である。
- ③ 図 178 のように、本来異常として検出すべき箇所の検出漏れによって、画像診断の見逃しを引き起こす可能性は存在する。そのため本実証においては、検出漏れ 0 を目標に検出率 1 を評価における比較対象とし、実証の結果発生した 1 件の検出漏れに対しては“3.2.4(1)(イ)e)”にて原因と対応策について考察している。
- ④ 報告書作成に係る省力化に向けた今後の対応策として、“3.2.4(1)(イ)b)⑦)”にて示した通り、2D 設計図面データへのマッピングアプリケーションの拡張によって寄与できるものと考えている。

(ウ) 既存点検との比較

AI 解析を活用した自動スクリーニング処理の導入によって、人による作業時間が 6 時間 38 分削減された。目視点検における本手法の省力化の効果は確認できたものの、スクリーニング率が当初目標を大きく下回ったため、省力化の効果は当初の想定よりも低い結果となった。スクリーニング率の改善は喫緊の課題であり、“3.2.4(1)(イ)d)”にて考察している。

所要時間の合計は、32 時間 20 分から 33 時間 20 分と AI 解析の導入によって全体の合計所要時間が 1 時間増加した。今回は AI 解析に 7 時間以上もの時間がかかることとなったため、全体の所要時間が増加する結果となった。AI 解析の所要時間はプログラムの最適化や運用方法によって削減の余地がある。“3.2.4(3)(ウ)”にて改善案を述べる。

(エ) 時間効率改善

AI 解析の所要時間の削減方法について述べる。第一に、現状の AI 解析プログラムは最適化が出来ていないため処理時間に改善の余地がある。その他、より性能の高い計算機を用いることでも改善可能であるが、運用方法を変更することでも改善が期待できる。以下に運用方法の改善案を示す。

- AI 解析処理並列化

それぞれの面で異なる計算機使用して AI 解析を実施することで、所要時間が各

面の合計値から各面の最大値に削減される。

- 撮影と AI 解析の並列化

AI 解析は 1 面分の撮影データが揃えば実施可能であるため、1 面の撮影が完了した時点で AI 解析を開始することで、撮影終了時点から AI 解析が必要となるデータ数が削減される。今回の結果から、撮影時間より解析時間の方が短いため、各面のデータ数が同じであれば、本並列化によって撮影終了時点で最後に撮影した面以外の AI 解析が完了した状態となる。これによって、AI 解析の所要時間が 1 面の解析時間まで削減される。

(3) まとめ

実証結果をまとめた結果を以下に示す。

表 114 実証結果のまとめ

大項目	小項目	結果	参照先
基本実証	基本実証	<ul style="list-style-type: none"> ● 従来の目視点検と同等の検出率 (0.9~1) ● スクリーニング率が 0.429~0.584 となり、目標の 0.8 に達しなかった ● 一定した明るさ (同一時間帯など) の環境での撮影が望ましい 	3.2.4 (1) (イ) c)-f)
比較実証	① 動画撮影の適用実証	<ul style="list-style-type: none"> ● 動画であっても AI 解析の適用が可能 ● 4K 動画は基本実証(8K 静止画)と比較して、スクリーニング率が低かった 基本検証(8K 静止画) : 0.528 動画(4K 静止画) : 0.435 	3.2.4 (2) (イ) ①c)-d)
	② ズーム撮影の可能性実証	<ul style="list-style-type: none"> ● 4K 静止画ズーム 2 倍は基本実証 (8K 静止画) よりもスクリーニング率が高い 基本検証(8K 静止画広角) : 0.528 4K 静止画ズーム 2 倍 : 0.603 ● 4K 静止画ズーム 8 倍は基本実証 (8K 静止画) よりもスクリーニング率が低い 基本検証(8K 静止画広角) : 0.528 4K 静止画ズーム 2 倍 : 0.266 	3.2.4 (2) (イ) ②c)
	③ 撮影距離に関する検討	評価を行うために十分な撮影データが確保できなかったため、AI 解析による実証の対象外とした。	3.2.4 (2) (イ)③
	④ 傾き撮影の適用実証	<ul style="list-style-type: none"> ● 基本実証よりもスクリーニング率が低い 基本検証 : 0.429~0.584 傾き撮影 : 0.405 	3.2.4 (2) (イ) ④c)
	⑤ 異なる壁面素材の適用実証	<ul style="list-style-type: none"> ● セメント面の画像データ、セメント面とタイル面の混在する画像データでも AI 解析の適用が可能 ● セメント面は基本実証よりもスクリーニング率が低く、セメント面とタイル面の混在は基本実証よりもスクリーニング率が高い (西面での検証結果) 基本検証(タイル面のみ) : 0.429 セメント面のみ : 0.233 タイル面とセメント面が対象 : 0.470 	3.2.4(3) (ウ)
省力性実証	工数比較	<ul style="list-style-type: none"> ● 人が作業を行う時間を削減可能 ドローンによる点検 AI 解析なし : 32 時間 20 分 ドローンによる点検 AI 解析あり : 25 時間 42 分 削減時間 : 6 時間 38 分 	3.2.4(3) (ウ)

※表中に記載のスクリーニング率は 95% 閾値の結果

ドローンを活用した外壁の画像取得（高層ビル、超高層ビルにおける外壁画像取得の安全性と効率）とAI解析を併用することで点検・調査の省力化の可能性を見出した。

ドローンは、自動航行プラン策定の事前準備に要する手順と、現地の状況に即応し手動で航行する方法を比較した場合、特に建築物近傍での飛行においては、ビル壁面近くを巻き込む風の影響、コンパスエラー、建物によるGPS信号の遮蔽、建物内から漏れ出る各種電波（Wi-Fi電波含む）、屋上近くでは携帯キャリアのアンテナからの電波など様々な影響を受けるため安全かつ確実な外壁画像取得のためには係留装置を使用し手動航行での対応となる。目視内飛行での安全性確保のため、自動シャッターを2秒間隔で設定し、手動による飛行の上昇・下降の速度はおおむね毎秒1mとした。

安全性の確保と、道路上及び隣接地での飛行とならないため、また離着陸場所の移動を少なくする目的と手動航行における動画・静止画の取得を効率よく実施することに対してAI解析の可能性を確認するため、動画データでのAI解析の検証、ドローンを左右30度ずつ向きを変える斜め撮影画像での検証をおこなった。

しかしながら動画、静止画のどちらもスクリーニング率の低下がみられ、目視の代替とできない。動画撮影時の飛行速度の比較検証、及び斜め撮影時の角度の比較検証によって、適用限界を明らかにしつつ、具体的なフライト方法、速度、向きなどを仕様化し、本実証のAI解析実施時のフライトマニュアル等の策定が必要になる。効率的なフライトと撮影、AI解析の最適化の両立による有資格者による目視点検の省力化に向けては課題が残った。

ズーム撮影画像は、広角画像よりも画質が劣ることとスクリーニング率が大きく上がらない、かつズーム倍率をあげるとスクリーニング率が下がるが、安全性と確実な外壁画像取得のために係留装置を活用した建築物近接の撮影をする場合においてはこの影響は無い。

基本検証において検出率は、今回のミライト・ワン新木場ビルの東面、北面、南面では検出率100%。西面の最も低い面で80%となっており、特定条件下での検出率100%の検査が可能となる。有資格者による目視点検に置き換える精度は、一定条件下で達成したと考える。

ただし前述のようにドローンフライトの事前準備～フライトにおける工数と、AI解析にかかる事前の画像処理や学習データの選択アルゴリズムの改善の余地があるなど代替手法全体としての省力化は本実証では達成できていない。

前述のドローン飛行の上昇下降時の速度、概ね毎秒1mの場合、オートシャッター2秒ごとと合わせると画像の枚数が多すぎる事も処理時間の増加につながっている。

本実証においては、膨大な正常データを必要とする一般的な「教師データ」を作るAI解析手法ではなく、建築物ごとに現地一品生産的に学習データを作りその差分を検出する手法で実証した。AI解析の事前事後の処理手順削減を目指して基本検証と比較検証を行った結果、ドローンでの外壁画像取得時の効率化と、AI解析の事前処理～学習～解析の効率化の双方の適用限界を突き詰めるには至っていない。また、AI解析結果全体としてAI解析の処理時間に改善の余地が大いにある。

3.2.5 各実証の総括

高層ビル、超高層ビルにける、有資格者・有スキル者の目視点検（ロープ、ゴンドラ等の人手による高所作業）による転落の危険を回避するための、安全性を担保したうえでのドローン活用の普及促進を図るため各実証を行った。

安全性を第一優先とし、信頼性を必要条件と考え精度・工数・コストを比較した。

- (1) 精度・信頼性：建築物外壁点検のデジタル化に使用できるドローンの性能の水準を把握
- (2) 工数：安全性を優先し係留装置の活用により工数増
- (3) コスト：安全性を優先し係留装置の活用によりコスト増

なお、工数、コストに関しては、工数削減つまり省力化やコスト削減を図ることで安全性が低下する場合もあるため、トレードオフの関係となることもありえる。その場合、安全性を優先させることとなるため各種係留装置の有用性・安全性を確認した。

ドローンによる画像取得は、高層、超高層ビルにおいても正対した画像を一定の離隔距離で取得できるため、地上から見上げる目視点検と比較して均一の画質で画像を比較点検できる。また、ロープアクセスやゴンドラを使用した外壁点検の手法については有資格者の労務稼働が大きく、かつ転落等の危険も伴うことから、ドローンにより取得した画像で点検することにより人身事故のリスクを無くすことができる。ドローン、3D データを活用した建造物の検査を実現することが有資格者による目視点検の負荷を軽減することになると考え、各実証を行った。以下、各実証結果のサマリーを示す。

① ドローン機材性能評価

ドローン運用事業者、操縦者が安心、安全にドローンを飛行させることができる動力性能、安定性、操作性、撮影精度を比較し、前述の複数の観点からよりドローンの墜落等の事故を起こしにくい、目視検査に置き換える精度を担保できる基準を定量評価した。

これにより、ドローンの選定における実例を示し、特に建築物の外壁検査における、近接撮影時に係留装置の使用と併用することで安全確実に効率よく検査のための画像を取得できる。

均等な離隔距離、建築物外壁から近接での正対した画像を取得する理由、コンプライアンス遵守と安全確保と今後の AI 解析を含む建築物の目視点検のための重要な手法であることは前述のとおりである。

② 電波環境調査

ドローン運用事業者、操縦者が安心、安全にドローンを飛行させるために機体と送信機間の電波特性の把握と、周辺の Wi-F 電波、携帯キャリアアンテナからの電波による影響、またメーカー機種の違いによって影響差があるのかを把握しておくことで建築物調査におけるドローン運航の適用限界を高める目的で実証を行った。

ただし、事故が起きかねない限界まで運航させるために実証を行ったわけではなく、定性的だった建築物近辺や屋上のアンテナからの影響により飛行時は注意が必要という曖昧だった安全対策に対して、事前調査手法の提言と係留装置を活用にすることによる安全対策の向上を①のドローン機材性能評価結果の機種ごと、係留装置ごとの安全性、有用性の向上と併せて活用の幅を広げることにつながる。と考える。

実際の建築物の調査において外壁に近接して撮影する際に屋内からの Wi-Fi 電波等ドローンに影響を与える電波がどの程度屋外まで放射されているか、また屋内の Wi-Fi アクセスポイントの数やキャリアセンスによって特定機種のだローンの電波に影響を与えないかなどを顧客のビル内の状況をすべて把握することは不可能である。地上の離発着場所近辺や屋上で Wi-Fi 電波の占有状況をビルの近接では建物に巻き込む風の影響、GPS/GNSS 信号の捕捉数の変化、コンパスエラーなどドローンにとっては多くの危険が潜む。そのため事前の電波環境調査、適用する機体での地上と屋上における機体と送信機間の伝送の正常性確認を調査しておくとともに、実際の飛行時は係留装置の活用を強く推奨する。

上記係留装置の使用を前提とした建築物の検査に適用可能なドローンの仕様、性能、電波干渉の影響度合いの違いを定量評価基準として制定する必要があると考える。

③ 3D データ作成

本実証にて使用したアプリケーションの機能で建築物の外壁等の経年劣化、損傷、外壁の凹凸などの変状を比較、確認するために毎年点群データを取得し 3D データを比較することでデータ上での点検の可能性を確認した。

④ AI 解析

正対した画像を均等に撮影することにより、目視点検と同程度の精度で AI 解析による異常箇所、劣化損傷箇所の発見、診断の事前チェックが可能となる。ただし、安全性を最大限高めた手法でドローンによる外壁画像を取得するため工数、コストの削減、省力化には課題が残る。ドローンでの外壁画像データ取得の効率化に向けて、動画撮影、斜め撮影、ズーム撮影を行ったが、適用範囲の実証には至っていない。ドローンによる外壁画像取得の効率をあげて最低限の枚数とした場合、AI 解析のスクリーニング率、検出率が低下する。AI 解析の事前に画像データの間引き作業と学習データを作成する手順最適化と、ドローンでの画像取得作業と AI 解析の処理を並列化、検査対象建築物の現場にて同時作業を行うことで全体の処理時間を削減することができるが、AI 解析処理の所要時間には、改善の余地が大いにある。

表 115 本実証の総括

内容	①ドローン機材性能評価	②電波環境調査	③ 3D データ作成	④AI 解析
対象業務（法令）に係るアナログ規制見直しの可能性の評価	高所での打診点検をドローンに置き換える有用性・安全性の確認 「定期報告制度における赤外線調査（無人航空機による赤外線調査を含む）による外壁調査 ガイドライン」に付け加える定量評価、事前電波確認手法を検証した。		特に超高層ビルにおいては、安全性を確保しつつ高所での目視点検に置き換える可能性を検証した。	有資格者による目視点検の写真確認作業を軽減できる可能性を確認した。
実現場での技術等の活用・導入に当たってのポイント	メーカ・機種ごとの機体の動力性能と操作性を把握しておくことで、安全な飛行と安定した品質の撮影が可能	建物周辺での事前の電波状況確認手法の提言 ・機体と送信機の干渉影響を確認 ・Wi-Fi 占有状況を確認アプリ使用	ドローンのLiDAR センサにて点群データ取得の際の密度・精度を上げる必要性あり。	AI 解析が効率よくできる均一な環境でのドローンでの撮影。明暗の差が少なく、正対した写真を撮影。
実証を通じて明らかになった課題及び改善の方向性	メーカ・機種の性能によって建築物近傍での使用に対して適・不適が大きく異なる。 ⇒ 係留装置の併用を強く推奨する。		3D データを扱うアプリケーション性能と処理する PC の性能に依存する。	ドローンの撮影精度に依存する。AI 解析の処理時間に改善の余地が大いにある。
アナログ規制の見直しにあたり留意すべき点等	ドローンの活用にあたっては、航空法遵守はもとより、機種ごとの性能、電波干渉の影響度合いの違いを定量評価基準として制定する必要がある。		有資格者の目視点検に置き換える 3D データ活用の基準を制定する必要がある。	データの品質及び AI に対する信頼性などが点検活用の許容範囲に適するかを検証する必要がある。

建築基準法第 12 条（第 88 条で準用する場合を含む）建築基準法施行規則第 5 条及び第 5 条の 2、第 6 条の 2 の 2 及び第 6 条の 2 の 3 に基づく特定建築物等の定期調査・点検においてドローンの活用の幅を広げることで「有資格者が実地で点検し定期報告する」手法と比較して、工数削減と転落事故等の危険を減らすことができる。

本実証の結果のまとめとしては、以下のとおりである

● 飛行時の安全性を高めたうえでのドローン活用のための実効的な検証

1. 係留技術に適用可能な機種を評価・選定するための 7 機種を相対評価を行った。
2. 建築物近傍での飛行前の電波調査手法を確認した。

（1）ドローン機体と送信機での電波干渉状況を確認可能な機種でのフライト前調査の実施

（2）Wi-Fi 占有状況の確認アプリでの建物近傍の電波環境確認

● デジタルデータ・新技術を活用した効率化への貢献

3. 膨大な教師データの事前準備が必要ではなく「現地建築物ごとに学習を効率化」し AI 解析をする手法を検証した。

本実証にてドローン機種の選定方法の検証と電波環境に対する影響を受けにくい機種の選定をする道筋をつけたものの、建築物調査において近接で正対した画像を取得するためのフライトは、

1. ビル壁面や隣接建物との間の巻き込む風
2. 建物が遮蔽物になることで GNSS 捕捉数が変化
3. 屋内からの 2.4GHz 帯を含む電波の放出
4. 建物の材質、鉄筋・鉄骨の影響でのコンパスエラー
5. 携帯通信事業者のアンテナからの干渉波

などドローンの制御を失う危険性が多く存在する。

安全が前提条件である以上、本実証にて使用した各種係留方法を活用したフライトは、特に建築物調査においては必須と考える。

アナログ規制の見直しに向けては、建築物調査におけるドローンの性能、仕様の標準化等機体認証制度へ反映する基準策定と、係留装置活用による安全性の確保のための係留装置運用ガイドライン策定が急務と考える。

用語集

用語	定義・解説
建築物	家屋や倉庫等、建築した物。たてもの。建築基準法では、土地に定着する工作物のうち、屋根及び柱もしくは壁を有するものとする。
点検	建築物が損傷、腐食、その他の劣化状況を調査し、建築物の状況について安全上支障がないことを定期的に確かめる行為とする。
調査	建築物の確認・点検を実施し、設計・施工に必要な情報を収集・整理すること。
事前調査	事前踏査とも称する。①ドローンを使用した確認・点検を実施する前に飛行箇所、点検範囲、電波等周辺環境を調査する。事前調査には調査対象建築物の既存資料等文献をもとに基本事項を明確にする行為を含むこともある。②補償業務において実施する事前の調査。
診断	調査結果に基づき、劣化及び不具合の程度の評価、補修・改修の要否の判定、ならびに必要なに応じて劣化の原因及びメカニズムの推定を行うこと。
変状	何らかの原因で、建築物またはその部分に発生している、本来あるべき姿ではない状態。
ドローン飛行管理責任者	建築ドローン安全教育講習修了者が就くことができる。一例として建築物の確認・点検・調査及び工事においてドローンを使用するにあたり配置しドローンに関連する職務を遂行する。
GNSS	衛星を使用した自己位置推定技術あるいはシステムを示す。GNSS(Global Navigation Satellite System / 全球測位衛星システム)は、米国の GPS、日本の準天頂衛星(QZSS)、ロシアの GLONASS、欧州連合の Galileo 等の衛星測位システムの総称。
非 GNSS	GNSS 以外の自己位置推定技術あるいはシステム。
Wi-Fi	無線 LAN 機器が IEEE 802.11 シリーズに準拠していることを示すブランド名。(英語: Wireless Fidelity)
無線	線を使わず電波や光を使う通信の事を指す。(無線通信を指すこともある)
電波	300 万メガヘルツ以下の周波数の電磁波を言う。
無線従事者	無線設備の操作またはその監督を行う者であって、総務大臣または総合通信局長の許可をうけたものを指す。
無線局	無線設備及び無線設備の操作を行う者の総体を言う。ただし、受信のみを目的とするものを含まない。

無線設備	無線電信、無線電話その他電波を送りまたは受けるための電氣的設備。
送信設備	送信装置と送信空中線系とから成る電波を送る設備を指す。
受信機	操作装置からの信号を受け取りフライトコントローラに操作信号を渡す。
プロペラ	揚力を発生させる羽を指す。
モーター	プロペラを回転させる駆動系を指す。
FPV	First Person View の略であり、一人称視点を意味する。一人称視点映像の送信用・受信用システムを指す。
ヘッドマウントディスプレイ	頭部に装着するディスプレイ装置を指す。
基地局	携帯電話や PHS などの無線通信端末と直接交信するためのアンテナや装置などを含めた建造物を指す。
無線送信機／プロポ	操作者がドローンを操作する機器のこと。RC 送信機、コントローラとも称する。
ジンバル	1 つの軸を中心に物体を回転させる回転台のことで、デジタルカメラや、ドローンで撮影する時に傾きや手ぶれ等を自動で補正する機材のことを指す。
フライトコントローラ	ドローンの位置と姿勢の制御や自律飛行を行うための処理を行う装置。略称：フライトコントローラを指す。
自律制御	ドローンの自律行動を実現する、制御方式あるいは技術。
フェールセーフ	ドローンに備わった装置、システム等において、何らかの異常が発生した際に安全側へ自動制御する機能のことを指す。
係留装置	ドローンを紐状、棒状のもので異常動作を制限する装置を指す。
係留	ドローンを紐状、棒状のもので異常動作を制限することを指す。
バッテリー	蓄電池を指す。ドローンでは、主にリチウムポリマー（Lipo）バッテリーが使用されており、発火性があるため、取り扱いに注意を払う必要がある。
スクリーニング	一般的に、大量のものに対して検査を行い、条件に合うものを選び出す行為のこと。AI 解析の項では解析結果を基に人による目視確認を不要とする箇所をグレーアウトする処理のことを指す。
学習データ	AI 解析の学習の際に用いられるデータ。AI による異常分類の基準となる。訓練データとも呼ばれる。
特定異常	本報告書特有の表現。有資格者（1、2 級建築士、特定建築物調査員）の検査員による目視点検の結果、異常と認定された箇所。
画像データ	本報告書特有の表現。AI 解析プログラムの入力となる画像（224px×224px）。実証のため、内容に応じてラベル分けされる。

対象データ（適用範囲内データ）	本報告書特有の表現。AI 解析の対象とする画像データ。本実証においてはタイル面（及びタイル面上の目地）を対象とした。
適用範囲外データ	本報告書特有の表現。AI 解析の対象外とする画像データ。画像データのうち、対象データに含まれないもの全て。
正常データ	本報告書特有の表現。AI 解析担当者による画像確認にて、正常と認定された箇所が映った対象データ。
異常データ（特定異常）	本報告書特有の表現。特定異常が映った対象データ。なお、検査員による目視点検の結果、異常と認定された箇所は合計で 40 カ所存在する。
異常データ（その他）	本報告書特有の表現。AI 解析担当者による画像確認にて、異常と認定された箇所が映った対象データのうち、異常データ(特定異常)を除いたもの。
異常スコア	本報告書特有の表現。AI 解析によって出力される画像データの異常度合いを数値化したもの。画像単位とピクセル単位の 2 種類で出力される。
誘目表示処理	壁面撮影画像を用いた AI 解析の結果から人が確認する必要のある異常の恐れのある箇所を把握しやすく表示する処理のことで、具体的には異常の恐れのない箇所を人が確認する必要のない箇所としてグレースアウトする処理。
95%信頼区間	統計を扱ううえで一般的に用いられているもので、正規分布に従う母集団から標本を取ってきてその平均から 95%信頼区間を求めた時に、その区間の中に 95%の確率で母平均が含まれる。
CNN	Convolutional Neural Network(畳み込みニューラルネットワーク)。 AI による画像解析の一種であり、CNN（または CNN モデル）は、多くの要素数を持つデータである画像を抽象化し、より少ない要素数のデータ（特徴量）に変換する。
特徴量	あるデータの特徴を定量的に表したもの。CNN においては抽象化されたデータ（及び抽象化している過程のデータ）のことを指す。
CAD データ	Computer-Aided Design は、設計の専門家が実世界のオブジェクトを設計及びドキュメント化するために使用する、ハードウェアとソフトウェアのシステムです。エンジニアリング、建築、測量、建設業界に携わる組織では、さまざまな計画、建設の詳細、実世界の資産の完成表現を、CAD を使用して描写できます。
VisualSLAM	カメラから得られた映像データから、自分の位置や姿勢と周辺の物体の位置情報を三次元で把握する技術。
ホバリング	空中で停止した飛行状態にあること。

ビジョンセンサ	視覚情報を取得し、ドローンが周囲の環境を理解し、自己位置把握するのに役立つセンサ。
フレア	航空機の着陸時に使用される操作。
フレア操作	航空機が着陸の直前に行う機首を上げる操作。
係留索	ロープで船を港に留めておくように、固定地点とドローンを紐やワイヤーで留める飛行法方法。
枝索	2点係留の主索から係留策の枝出しを行うこと。
オーバーシュート	航空機が何らかの原因により本来の目標を行き過ぎること。
フライアウェイ	無人航空機や航空機が制御を喪失し、意図せず制御の範囲外に飛び去ること。
ラインドローンシステム	建物等の屋上と地上の2箇所をラインで結び、そのライン間(2点)係留をドローンが飛行させるシステム。
周波数ホッピング	通信や無線通信において使用される技術の一つで、送信する信号が複数の異なる周波数帯域を頻繁に切り替えること。 周波数を高速に切替えながら通信をすることで、瞬間的に他の通信と電波がぶつかっても、連続して電波がぶつからないようにする通信方法です。
チャンネル占有率/占有率	2.4GHz帯は電波干渉せずに利用できるチャンネル数が3つ(例:1ch、6ch、11ch等)しかない事に加え、近年では、モバイルルータやテザリング可能なスマートフォンなどの、持ち運びを前提とした、無線LANアクセスポイント機能を持つデバイスの普及により、電波干渉源が移動してやってくる、という事も起こり得るため、2.4GHz帯は電波干渉による影響が多い「汚れた周波数帯」とも呼ばれます。同じ空間に複数の端末による2.4GHz帯の電波が数多く存在し、チャンネル、帯域を占有している端末数が多い状態を占有率が高いとしてこの場合のドローンが受ける影響を検証しています。
スペクトラムアナライザ	電磁波の周波数成分や信号の強度を測定し、可視化するための計測機器。
マルチスペクトラムアナライザ	複数の異なる波長や周波数帯域での電磁波を同時に分析する能力を持ったスペクトラムアナライザの一種。
潜在電界	電場が物質の中で変動しているときに発生する電場を指す。
ラップ率	撮影される画像間の重複の割合。
サイドラップ	連続する写真や画像の中で隣接する撮影ストリップ間の横方向の重複領域の割合。
オーバーラップ	連続する写真や画像の中で隣接する撮影ストリップ間の縦方向の重複領域の割合。
標準偏差	測定値のバラツキの割合を表すもの。
SfM処理	SfMは、Structure from Motionの略称である。ある対象

	を撮影した複数枚の写真から、対象の形状を復元する技術の総称を指します。 SfM ソフトウェアを使えば、複数の写真を入力することで、3次元のモデルを容易に作るができる。
--	---

【参考文献】

- 1) 建築物に関わるドローン活用のための標準仕様書(案)【点検・調査編】2019.4 版,日本建築ドローン協会
- 2) JADA 建築狭所空間ドローン利活用実施ガイドライン(案)・同解説 2022.11 版, 日本建築ドローン協会
- 3) "Towards Total Recall in Industrial Anomaly Detection", 2022, K. Roth, et al.
- 4) 居住者から見た建築物調査時等のドローンの評価手法研究会 報告書
- 5) 20220401 定期報告制度における赤外線調査（無人航空機による赤外線調査）本文＋全文

添付資料

I. 可視画像精度・各条件

表 41、表 47、表 53、表 61、表 64