福島第一原子力発電所 原子炉格納容器内部の小型ドローン映像による三次元復元と可視化

— SfM/MVS と 3D Gaussian Splatting の極限環境における実利用 —

桜木 洋一†，中島 悟‡，○田村 隆匡§

†: 東京電力ホールディングス株式会社 経営技術戦略研究所
‡: 東京電力ホールディングス株式会社 福島第一原子力発電所
§: 株式会社電報児
E-mail: taka@denpo.com

3D Reconstruction and Visualization of Primary Containment Vessel Interiors at Fukushima Daiichi NPS from Micro-Drone Imagery

概要：本稿は，福島第一原子力発電所の原子炉格納容器内部という，暗く，模様に乏しく，放射線ノイズの多い環境で取得した小型ドローン映像に対し，学習ベースの特徴点マッチングを組み込んだ写真測量（SfM/MVS）処理系を実運用した事例の報告であり，新規アルゴリズムの提案ではない．3 号機の映像から同一条件で抜き出した 10,940 枚による比較では，従来構成（SIFT＋COLMAP）では入力画像の 86.2%を最大の三次元再構成に取り込めたが，ほかに 9 個の小さな再構成も生じた．一方，本処理系では 97.8%を単一の再構成に取り込めた．この処理系で 11 日間・21 フライトの 163,850 フレームを一つの座標系に統合し，ペデスタル（原子炉圧力容器を支える円筒状の構造）の内径を基準に点群を実寸化した．この点群上で，原子炉圧力容器底部とみられる構造物の厚さが実機寸法（約 140mm）と概ね整合することを確認し，同じ点群をドローンの最高飛行高さ（約 9.4m）の評価にも用いた．あわせて，閲覧用の 3D Gaussian Splatting を同じ座標系で提供した．

＜キーワード＞ 三次元計測，SfM/MVS，3D Gaussian Splatting

1. はじめに

福島第一原子力発電所の廃炉では，人が立ち入れない原子炉格納容器（PCV）の内部の形状を把握することが，燃料デブリ取り出しをはじめとする工程設計の出発点になる．内部は高線量で暗く，GPS は使えず，通路は狭い．測量機器を持ち込むことは現実的でなく，狭い空間に入れる小型ドローンが撮った映像が，内部の形を知る手がかりになる．筆者らは，この映像から写真測量によって三次元の計測用データと可視化データを作る取り組みを，1 号機（2024 年）と 3 号機（2026 年）の二つの調査に適用してきた．筆者らはいずれの結果も調査報告[3][4]として公表しており，3 号機の報告[3]には点群と 3D Gaussian Splatting による可視化成果も含めた．

格納容器内部の映像は暗く，壁面の模様が乏しく，放射線によるノイズが散らばる．このような映像では，従来の特徴点の見つけ方では画像間の対応が足りず，三次元復元が途中で途切れる．この問題への対処が本稿の中心である．以下，用語を整理する．写真測量の基本は，複数の画像に共通して写る目印（特徴点）を見つけ，画像どうしで同じ点を対応付け，その対応からカメラの位置・向きと目印の三次元座標を同時に解くことである．画像から推定した撮影時のカメラの位置と向きを，本稿では「カメラ姿勢」と呼ぶ．この手順を SfM（Structure from Motion）と呼び，本稿では，SfM によって同一の座標系で推定されたカメラ姿勢と三次元点のひとまとまりを「再構成」と呼ぶ．画像間の対応が不足すると，一つにつながらず複数の独立した再構成に分かれることがある．SfM で決まったカメラ姿勢をもとに表面を密な点の集合として復元する手順を MVS（Multi-View Stereo）と呼び，その出力を「高密度点群」と呼

ぶ．これとは別に，多数の小さな楕円体で外観を表し任意の視点から画像のように表示する 3D Gaussian Splatting（3DGS，7 章）の出力を「3DGS 可視化データ」と呼び，計測には使わない．画像からカメラの位置と向きが求まり再構成に取り込まれることを「登録」と呼び，入力画像に占める登録画像の割合を「登録率」と呼ぶ．従来の代表的な特徴点手法である SIFT[6]は，画像のスケール空間から特徴点を検出し，その周辺の輝度勾配にもとづく特徴量を用いて対応付ける．COLMAP[1]は，これらの対応関係を用いてカメラ姿勢と三次元構造を復元する SfM ソフトウェアであり，本稿では SIFT＋COLMAP を「従来構成」と呼ぶ．本稿は次の三点を報告する．

（1）深層学習にもとづく特徴点マッチングを組み込んだ SfM 処理系を構築し，同じ映像・同じ条件で従来構成と比べた．従来構成では入力画像の 86.2%が最大の再構成に登録され，これとは別に 9 個の小さな再構成が生じたのに対し，本処理系では 97.8%が一つの再構成に登録された（4.3 節）．（2）3 号機の 11 日間・21 フライトの映像を一つの座標系に統合した．ペデスタル内径（約 5.5m）を基準に実寸を与え，構造物の厚さの計測値が実機寸法（約 140mm）と概ね整合することを確かめた．この点群を，ドローンの最高飛行高さ（ペデスタル底部から約 9.4m）の評価にも用いた（5 章）．（3）この点群で何が測れて何が測れないかを整理し，計測用の高密度点群と閲覧用の 3DGS 可視化データを一つの座標系で提供する運用を示した（5.4 節，7 章）．

本稿の貢献は新しいマッチング手法の提案ではなく，極限環境の実映像に対して学習ベースの手法を実運用し，その効果を同一条件の比較で示し，得られた点群をどの範囲で何に使ってよいかを明らかにした点にある．特徴抽出とマッチングの具体的な構成は知的財産の保護のため公開しないが，処理の段階，画像ペアの選び方，幾何検証の有無，比較の条件は本文に記す．

2. 対象と撮影条件

対象はどちらも原子炉格納容器（PCV）の内部である．撮影条件を表 1 にまとめる．1 号機では 2024 年 2 月 28 日にペデスタル外の 1 階部分を，3 月 14 日にペデスタル内を，それぞれ別の機体で撮影した[4]．調査全体で 4 機を飛ばしたうち，本稿の 1 号機の復元には 3 月 14 日にペデスタル内を飛行した 2 機（3 機目・4 機目）の映像を用いた．3 号機では直径約 140mm の貫通部から入れるマイクロドローンを使い，11 日間・21 フライトで，ペデスタル外・ペデスタル内・追加調査の順に撮影した[3]．

照明は機体の LED だけで，自然光はない．格納容器の中には靄があり，1 号機では照明の効きを大きく落としてカメラの曇りも招き[4]，3 号機では見通せる距離が約 3m に限られた[3]．高い空間線量率は，映像全体に散らばる輝点状のノイズの原因になる．3 号機の SfM 入力画像から抽出した標本では，画素値の平均（8 ビットのグレースケール平均を 255 で割った値）が約 21%しかなく，壁面は模様に乏しい．特徴点を見つけて対応付けることが前提の写真測量にとって，これほど不利な条件が揃う現場は少ない．

3 号機では横向きと縦向きのカメラを併用したため，素材は横長と縦長の混合になる．この二つを一つの座標系に矛盾なく収めることが，3 号機に固有の課題だった．表 1 の枚数は元動画の全フレームではなく，3.2 節の選別を経て SfM に入力した枚数である．

項目	1 号機（2024） 小型ドローン	3 号機（2026） マイクロドローン
対象空間	PCV ペデスタル内（3 月 14 日）	PCV ペデスタル外・内，原子炉圧力容器（RPV）底部付近
機体	185g	95g
カメラ	フル HD 60fps，正面 1 台（超高感度）	2.7K 60fps，横向き・縦向きの 2 種
画像サイズ	1920×1080	2604×1520 / 1520×2604 混合
飛行	PCV ペデスタル内 1 日・2 フライト	11 日間・21 フライト
SfM 入力枚数（選別後）	6,118	163,850
照明	機体 LED（90lm）のみ	機体 LED（380lm）のみ
線量率	最大約 10Gy/h	0.5〜7.5Gy/h
特記	靄・カメラ曇り，暗所区間あり	靄（視程約 3m），外周周回飛行を含む

表 1　撮影条件の比較（機体・飛行条件・環境は調査報告[3][4][5]による）

3. 前処理

SfM に入れる前に，映像からノイズと歪みを取り除き，復元に向いたフレームを選ぶ．この章の処理はいずれも「特徴点を見つけやすくする」ためのものである．

3.1 放射線ノイズと靄への対策

高線量環境に特有のセンサノイズには，どちらの調査でも，まず筆者らが開発したノイズ除去処理（第一段）をかけた．この処理は時間方向のフレーム間処理を主体とし，残った輝点を空間フィルタで取り除く．輝点を周囲の値で置き換える処理が中心で，特徴点抽出を乱すような過度な平滑化や，構造にない模様を補うような処理は含めていない．偽の特徴点を作って後段の対応付けを乱さないためである．

ノイズと靄の程度は二つの調査で大きく違った．1 号機は放射線ノイズも靄も多かったため，第二段として，残ったノイズのパターンを機械学習で学習させて除去する工程を加えた（図 1，図 2）．靄についても，模擬環境で採取した靄の画像と奥行き情報から学習データを作り，機械学習で除去することを試みた．一枚ずつの靄は取れるが，時間的につながった靄を取り切ることは難しく，今後の課題として残っている．第二段の機械学習による除去については，人工的な特徴点を生じていないことの確認までは行っていない．また，個々の前処理が SfM の登録率にどれだけ寄与したかは分離して評価していない．



図 1　放射線ノイズ除去の前後（1 号機．上段：同一フレーム，下段：赤枠の拡大）

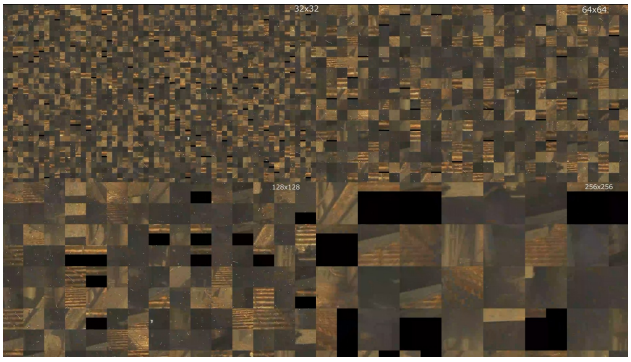


図 2　機械学習によるノイズパターン学習の様子（32〜256 ピクセル角のパッチ）

3.2 レンズ歪補正，輝度の均一化，フレーム選別

広角レンズ（3 号機は対角 140°[3]）の歪みは，事前の校正にもとづいて画像の段階で補正し，補正後の画像を SfM に入力した．横向きと縦向きのカメラは別のカメラとして扱い，事前校正で得た内部パラメータ（焦点距離・画像中心・歪み係数）は再構成の中では固定した．3 号機では，映像の明るさや障害物の写り込みに応じて飛行ごとに強さを変えた輝度の均一化処理を施したうえで SfM に入力した．この処理は撮影画像の画素値を調整するものであり，撮影されていない構造や模様を推定・生成する画像補完処理は用いていない（1 号機の暗所区間での扱いは 6 章）．

動画からのフレーム選別には，極限環境の不均一な映像品質に合わせて開発した自作のツールを使った．各フレームの鮮鋭度・輝度・模様の量・ノイズ量などの指標を組み合わせたスコアで復元に向いたフレームを残し，あわせて重複フレームの間引きと露出が急変したフレームの除外を行った．

4. 三次元復元

4.1 学習ベースの特徴点マッチング

暗く模様の乏しい壁面では，SIFT のような従来の特徴点手法は対応点が足りず，撮影時の位置・向きを推定できない区間が生じる．そこで，近年の画像マッチングの進展[7]を踏まえ，深層学習にもとづく特徴抽出とマッチングを採用した．学習ベースの手法は，弱い模様や繰り返しの構造からでも画像間の対応を見つけやすい．公開され

ている複数の学習ベース手法を独自に組み合わせている（構成は 1 章で述べたとおり非公開）．処理の流れを図3(a)に，従来構成との定量比較を4.3節に示す．

4.2 複数飛行日の統合

対応付けは，時系列で隣り合うフレームの対に加えて，別の日や別の向きで同じ場所を撮った区間の対にも行い，11 日分の映像をすべて一つの座標系にまとめた．格納容器の内部は入口から奥へ向かう経路で撮影されるため，一本の経路だけでは奥へ行くほど姿勢の誤差が積み重なりやすい．別の日に同じ場所を撮った映像どうしを対応付けることで，この積み重なりを抑え，奥行き方向の整合を確認した．対応点は幾何検証（二つの画像の間で，カメラの動きとして説明できる対応だけを残す検査[1]）を通したものだけを使い，SfM には COLMAP[1]互換のパイプラインを用いた．入力 163,850 フレームのうち 163,422 フレーム（99.7%）について撮影時の位置・向き（カメラ姿勢）を推定できた．姿勢を推定できた画像のうち，幾何学的な整合と三次元点への寄与にもとづく品質管理で 1,353 枚を除き，162,069 フレーム（入力の 98.9%）を品質管理後の再構成（以下，最終再構成）に採用した．最終再構成から MVS で約 5.4 億点の高密度点群を得た．

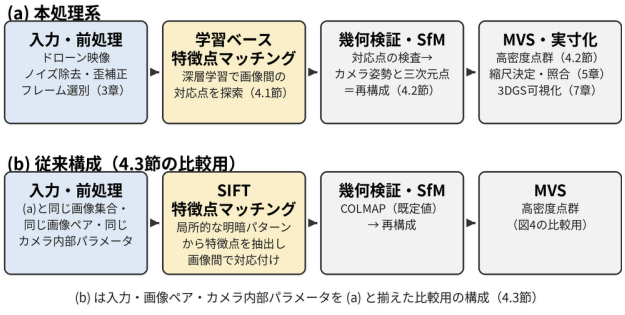


図 3　処理の流れ．(a) 本処理系，(b) 4.3 節の比較に用いた従来構成（SIFT＋COLMAP）

4.3 従来構成との比較

学習ベースの特徴点マッチングを組み込んだ本処理系の再構成性能を評価するため，従来構成（SIFT＋COLMAP）との比較を行った．比較には，前処理後の全 11 日・21 フライト分の映像から約 15 枚に 1 枚の割合で選別した 10,940 枚を使用した．両者には同一の画像集合と画像ペア集合を用い，カメラ内部パラメータは固定した．本処理系と従来構成の処理の流れを図 3 に示す．

結果を表 2 に示す．従来構成では，最大の再構成に 9,434 枚（入力の 86.2%）が登録され，これとは別に 9 個の小さな再構成が生じた（再構成数 10）．一方，本処理系では 10,700 枚（入力の 97.8%）が一つの再構成に登録された（再構成数 1）．従来構成では，画像間の対応点が不足する区間があり，そのため一部が独立した再構成に分かれたと考えられる．

手法	登録枚数	登録率	再構成数	3D 点数
SIFT＋COLMAP	9,434	86.2%	10	94.0 万
本処理系	10,700	97.8%	1	126.5 万

表 2　従来構成と本処理系の比較（共通の入力画像 10,940 枚．登録枚数・登録率・3D 点数は，それぞれ最大の再構成についての値）

両手法で得られた三次元復元結果を，同じ視点と縮尺で比較したものを図 4 に示す．図 4(a)は従来構成で得られた最大再構成 9,434 枚のみを高密度化したものであり，残る 9 個の小さな再構成は含んでいない．このため，従来構成でも主要な構造は復元されているが，外周の一部で復元が途切れている．一方，本処理系では 10,700 枚を単一の再構成に登録することで，より広い範囲を連続して復元できた（図 4(b)）．

また，両手法で共通に撮影位置を推定できた画像について位置関係を比較したところ，内側の領域を基準に重ね合わせた場合，外周側ほど両者の推定撮影位置に差が生じる傾向が確認された．この傾向は，図 4(a)に見られる外周部の再構成形状の崩れとも対応しており，図 4(b)と比較して外周構造の連続性が低下していることを示している．

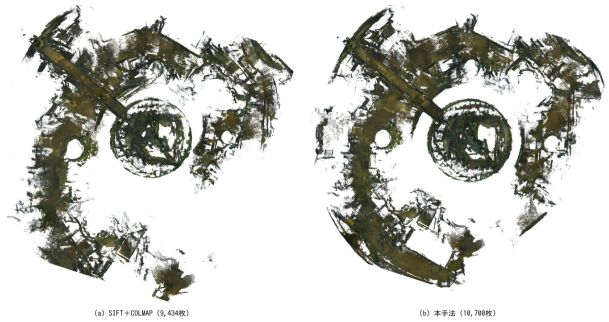


図 4　比較用 10,940 枚による高密度点群の上面図．(a) 従来構成（SIFT＋COLMAP，最大再構成 9,434 枚），(b) 本処理系（単一再構成 10,700 枚）．両者とも同じ画像と MVS 設定で高密度化し，共通画像について推定された撮影位置を用いた相似変換により，位置と縮尺を合わせた．(a)では外周の一部が途切れ，輪郭が閉じていない

5. 三次元復元結果の実寸化と検証

SfM の再構成とそこから得た高密度点群は，形は決まっても，どちらが上でどれだけの大きさかは画像だけでは決まらない．実際の寸法として読むには，向きと縮尺を外部の基準で与え，その結果が既知の条件と合っているかを確かめる必要がある．この章では，3 号機の最終再構成から得た高密度点群に対して行った手順と結果を，水平化（5.1 節），縮尺の決定（5.2 節），既知の実機情報との照合（5.3 節），測れるものと測れないもの（5.4 節）の順に述べる．

5.1 水平化

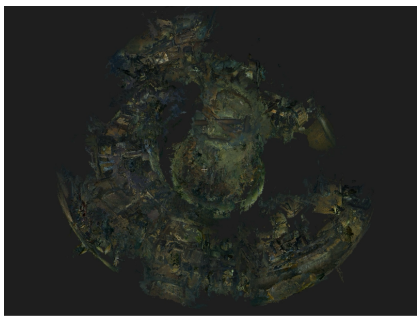
まず，水平とみなせる面（入口開口の天井）を基準面として平面を当てはめ，その法線が鉛直になるように点群全体を回転させた．基準面には約 34 万点を用い，回転後に同じ面へ再度平面を当てはめた残りの傾きは 0.01°であった．これは座標変換が正しく適用されたことを確認する値であり，基準面が実際に水平であることは前提として置いている．

5.2 縮尺の決定

次に，ペデスタル内径（約 5.5m[3]）を基準寸法として縮尺を決めた．点群から異なる高さの水平断面を 6 つ切り出し，それぞれの断面に円を当てはめて半径を求め，その平均半径の 2 倍（直径）が内径に一致するように全体を拡大縮小した．6 つの断面の半径のばらつきは小さく，高さ方向の系統的な傾向もなかった．事故による局所的な変形の可能性は否定できないが，このばらつきの小ささから，全体の縮尺を決める基準として十分と判断した．

5.3 既知の実機情報との照合

ペデスタル内径を基準として縮尺を決定した後，点群から得た計測結果を既知の実機情報と照合した．原子炉圧力容器（RPV）底部とみられる構造物の厚さ（2 章の貫通部の直径とは別の寸法）については，点群から得た計測値が実機寸法の約 140mm と概ね整合した．縮尺の基準（ペデスタル内径）とは別の場所・別の方向（厚さ方向）で整合が得られたことは，縮尺だけでなく局所的な形の歪みも小さいことを支持する．また，調査で到達した範囲の上限を示す値であるドローンの最高飛行高さについては，点群から得た高さ方向の計測値と既知の設備情報を組み合わせ，ペデスタル底部から約 9.4m と評価した．この結果は調査報告[3]にも掲載されている．これらは，局所的な寸法計測の妥当性と，既知の設備情報を組み合わせた空間評価への利用可能性を示す．ただし，復元領域全体の絶対的な計測精度を保証するものではない．復元結果を図 5 に示す．



(a) 高密度点群の全景



(b) 高密度点群の内部



(c) メッシュ表面形状

図 5　3 号機格納容器内部の復元結果（(a)は最終再構成から得た高密度点群の全景，(b)はその内部，(c)は 2026 年 6 月時点の中間段階の再構成（ペデスタル内部のみ，外周を含まない）から生成した 3DGS 可視化データ）

5.4 測れるものと測れないもの

この点群で何が測れて何が測れないかを整理する．測れるのは，複数の方向から撮影され，点群として面が復元されている部位の位置関係と大きさである．ペデスタル内径のように円を当てはめられる構造や，上下の高さ関係はこれに当たる．一方，カメラが一方向からしか見ていない部位では，壁の厚さや開口部の奥行きは原理的に得られない．また，照明が届かず点群が途切れている区間では，その区間をまたぐ寸法は信頼できない．成果物には，照合で裏付けた「確定値」と，一方向からの観測や点群の途切れを含む「未確定値」を分けて明示し，検証した範囲と制約を併記した．利用側が用途に応じて計測結果の適用可否を判断できるようにするためである．

6. 1 号機の復元 — 撮影条件の影響

二つの調査は同じ系統の処理で扱ったが，撮影条件の違いが復元の難しさに直結した．1 号機は調査全体で 4 機・各 5 分という短い飛行で，照明は 3 号機の 1/4（90lm）にとどまり，そこに靄によるカメラの曇りと放射線ノイズが重なった[4]．さらに，ペデスタル外（2 月 28 日）とペデスタル内（3 月 14 日）は別の日に別の機体で撮られており，両者をつなぐ経路は制御棒駆動機構（CRD）交換用開口部の一箇所しかない．3 号機は 11 日間・21 フライトで外周の周回を含み，照明も強い．

この差はそのまま結果に現れた．1 号機では撮影条件が厳しく，三次元復元の連続性に課題が残ったため，本稿では 1 号機の復元結果を計測には用いず，可視化の例として示すにとどめる．部分的な復元は，重なって観測された区間を手がかりに SfM 側で一つの座標系に統合し，その結果を 3DGS の学習に用いた（図 6）．統合の整合は目視で確認したにとどまり，定量的な評価は行っていない．暗所区間では，学習ベースの低照度画像鮮明化処理をかけた画像をカメラ姿勢の推定にだけ用い，3DGS の学習には元の映像を使った．鮮明化で加わった情報が成果物に直接混じらないようにするためである．



図 6　1 号機の復元．(a)(b) SfM による部分的な再構成，(c) 統合後の再構成から作った 3DGS 可視化

データ，(d) 3DGS 可視化データから変換した点群の上面図（形状把握のための参考であり計測には使わない）

1 号機では，照明の届く範囲が限られ，壁面の起伏や汚れといった手がかりを十分に観測できない区間があった．こうした撮影条件が，画像間の対応点の不足と再構成の分断に影響したと筆者らは解釈しているが，個々の要因の寄与は定量的に分離していない．撮影段階の照明と経路の計画が，あとからは取り返せない品質を左右することを示す例といえる．1 号機の調査時点では，取得映像から点群を生成できるかは検討中であったが[4]，その後の計画で小型ドローンの動画に SfM と 3DGS を適用する方針を定め[5]，取得済みの映像に対して調査の翌年（2025 年）に SfM と 3DGS による可視化（図 6）を実現した．

7. 3D Gaussian Splatting による可視化

計測用の点群とは別に，閲覧用として 3D Gaussian Splatting（3DGS）[2]による表現を作った．3DGS は，SfM の再構成（カメラ姿勢と疎な三次元点）を初期値として楕円体の色と形を画像に合うように最適化する手法で（1 章），点群では把握しにくい構造物の外観を自由な視点から表示できる．現場に入れない関係者のあいだで状況を共有するのに使っており，3 号機では点群と 3DGS の比較を調査報告[3]に載せている．ペデスタル内部の 3DGS 可視化データは，閲覧用として先行して 2026 年 6 月時点の中間段階の再構成（外周を含まない）から生成し，調査報告[3]に掲載した．外周の 3DGS 可視化データは 2026 年 7 月の最終再構成から生成した．撮影映像と 3DGS のレンダリングを図 7 に示す．

3DGS は画像の見た目に合わせる最適化で得られる表現であり，寸法の根拠には使わない．寸法の根拠は常に 5 章の点群に置く．高密度点群と 3DGS 可視化データを同じ SfM の再構成から派生させることで，計測用と閲覧用を一つの座標系で提供できる．

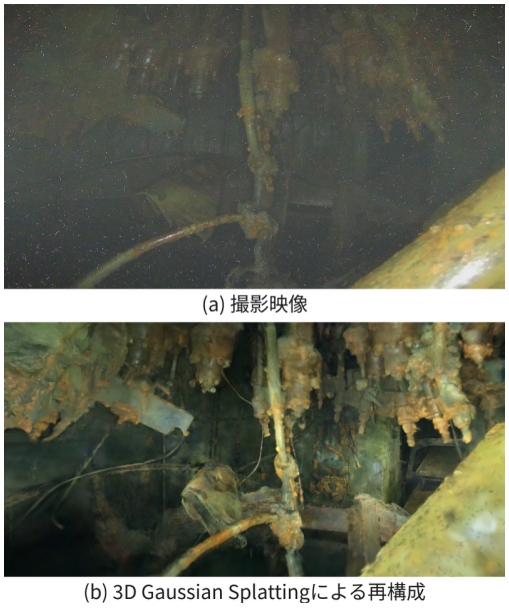


図 7　撮影映像(a)と，その近傍視点から見た 3DGS 可視化データ(b)（2026 年 6 月時点の中間段階の再構成から生成したもので，調査報告[3]と同じ）

8. 実利用への示唆

本稿では，従来構成で再構成が分断された撮影条件において，本処理系により単一の再構成を得た．さらに実寸化と実機寸法との局所的な照合を通じて，計測への適用可能性を示した．要素技術は，事故や災害の現場をはじめ，トンネル・プラント・下水道のような暗く狭く測位のきかないインフラ空間の遠隔調査に広く使えると考えている．ただし，本稿の復元性能と整合の結果は 3 号機の撮影条件で得たものであり，別の環境では個別に検証が要る．本稿の経験から導かれる要点は次の三点である．（1）撮影計画の段階で，後段の処理では補えない照明と経路の要素を押さえておくこと（6 章）．（2）縮尺の決定に使う既知寸法と，照合に使う実機情報を別々に確保すること（5 章）．（3）測れるものと測れないものを，成果物と一緒に納めること（5.4 節）．

9. まとめ

極限環境で撮られた小型ドローン映像に対して，学習ベースの特徴点マッチングを核とする SfM/MVS 処理系を実運用した．同一条件の比較では，従来構成（SIFT＋COLMAP）で 86.2%・再構成数 10 に分かれた登録が，本処理系では 97.8%・再構成数 1 になった．3 号機では 11 日分・

163,850 フレームの 99.7%に姿勢を与えて一つの座標系に統合し，ペデスタル内径で実寸を与えた点群上で，構造物の厚さの計測値が実機寸法と概ね整合することを確かめ，最高飛行高さの評価に用いた．あわせて測れるものと測れないものを整理し，計測用の点群と閲覧用の 3DGS を一つの座標系で提供した．

10. 今後の展望

本稿で報告した 3 号機の最終再構成は 2026 年 7 月時点のものである．その後，本稿の処理系を基礎に構成を見直した次世代の処理系を開発しており，同じ映像から，密度と整合性の両方で改善した再構成が得られつつある．この処理系は，今後の調査映像で検証したうえで計測に使う予定である．

謝辞　本研究で扱った映像は，東京電力ホールディングス株式会社の 1 号機および 3 号機 PCV 内部調査で取得されたものである．調査に携わられた関係各位に感謝する．

参考文献

[1] J. L. Schönberger and J.-M. Frahm: Structure-from-Motion Revisited, Proc. CVPR, pp.4104-4113, 2016.

[2] B. Kerbl, G. Kopanas, T. Leimkühler and G. Drettakis: 3D Gaussian Splatting for Real-Time Radiance Field Rendering, ACM Trans. Graphics, Vol.42, No.4, Article 139, 2023.

[3] 東京電力ホールディングス株式会社：3 号機 PCV 内部気中部調査（マイクロドローン調査）について，廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合／事務局会議（第 153 回）資料，2026 年 8 月 27 日．https://www.tepco.co.jp/decommission/information/committee/roadmap_progress/pdf/2026/d260827_23-j.pdf

[4] 東京電力ホールディングス株式会社：1 号機 PCV 内部調査（気中部調査）について，廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合／事務局会議（第 124 回）資料 3-3-2，2024 年 3 月 28 日．https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2024/03/03/3-3-2.pdf

[5] 東京電力ホールディングス株式会社：今後の 1,3 号機 PCV 内部調査の計画について，廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合／事務局会議（第 129 回）資料，2024 年 8 月 29 日．https://www.tepco.co.jp/decommission/information/committee/roadmap_progress/pdf/2024/d240829_28-j.pdf

[6] D. G. Lowe: Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints, IJCV, Vol.60, No.2, pp.91-110, 2004.

[7] Y. Jin, D. Mishkin, A. Mishchuk, J. Matas, P. Fua, K. M. Yi and E. Trulls: Image Matching Across Wide Baselines: From Paper to Practice, IJCV, Vol.129, No.2, pp.517-547, 2021.

著者紹介

桜木 洋一：東京電力ホールディングス株式会社 経営技術戦略研究所において，画像処理，映像処理，放射線計測，過酷環境下の撮像技術開発に従事．

中島 悟：東京電力ホールディングス株式会社 福島第一原子力発電所において，燃料デブリ取り出し計画ならびに準備に従事．原子炉格納容器内部の調査業務を担当．

田村 隆匡：株式会社電報児 代表取締役．ドローンによるインフラ点検・三次元計測に従事．専門学校にて高度専門士へ向けた映像技術の教育にも携わる．https://www.denpo.com/