3DGSによる配管DX
＜寸法・再現・鮮明度評価＞

㈱きもと　花田　康之
㈱KOO　中村　友

1. はじめに

1－1　複雑化するプラントの現況把握

化学系工場をはじめとする製造現場において、設備の現況把握は年々難易度を増している。特に当社三重工場の「液製造エリア」のように、多層的な配管ラック、密集するタンク群、無数のバルブ・計装機器が立体的に入り組む場所では、２次元図面（P&IDや配置図）だけで全体像を空間的に理解することは極めて困難である。図面はあくまで「論理的な接続」を示すものであり、現場の「物理的な隙間」や「作業足場の設置可否」「経年による配管のたわみ」までは表現しきれないからだ。

現状の現場確認は、2D図面や写真、そして現地調査を組み合わせて行われている。しかし、これは断片的な情報をつなぎ合わせて現場の立体構造をイメージするのは容易ではない。特に、遠隔地の関係者や現場に不慣れな担当者にとって、この「脳内の再構築」は大きな負担であり、結果として認識の齟齬や手戻りを引き起こす原因となりかねない。

1－2　既存3D技術の限界と3DGSへの期待

昨今のDX潮流により、地上型レーザースキャナやBIMによる3D化も進んでいる。しかし、現場展開にはいくつかの壁が存在した。LiDAR（点群）は、寸法精度はミリ単位で完璧だが、「点」の集合であるため、拡大するとスカスカになり、文字情報が判読できない。また、データサイズが巨大で専用ソフトが必要なケースが多い。一方、BIM（モデリング）は理想的なデータだが、既設工場をすべてモデリングするには膨大なコストがかかり、ROIが見合わないことが多い。

こうした背景で急速に注目されているのが、3D Gaussian Splatting（以下、3DGS）である。「写真の見え方」を保ったまま空間を3D化するこの技術は、高精度な形状計測よりも「現場の視覚情報を直感的に共有する」ことに特化した、新たな選択肢として期待されている。本稿では、液製造エリアにおける実証事例を通じ、「寸法（計測性）」「再現性（現場一致）」「鮮明度（可読性）」の観点から、その有用性を評価する。

2. 3DGSの技術的特長と優位性

2－1　3DGSとは

3DGSを一言で表せば、「視点を自由に動かせる、写真品質に近い3D空間」である。技術的な実態としては、シーンを無数の「半透明な3Dガウシアン分布」の集まりとして保持することでこれを実現している。

ここで比較対象となるのが、NeRF（Neural Radiance Fields）である。NeRFはAIを用いて空間を「光の密度と色の場」として学習するため、非常に写実的な表現が得意である。しかし、見る角度を変えるたびにニューラルネットワークによるレンダリング計算が必要となるため、処理が重く、リアルタイム表示には高スペックなGPUが必要になるという課題があった。

3DGSは、このNeRFが持つ「圧倒的な表現力」を取り入れつつ、データ構造自体は「点の集まり」として保持するアプローチをとっている。

これにより、点群データのようにGPUのラスタライズ機能を活かした軽快な描画が可能となる。つまり3DGSは、NeRFが得意とする「見た目の再現性」と、従来の点群が得意とする「軽快な描画・操作性」を高い次元で両立させた手法と言える。従来の3D表現と比較すると、その特性がより明確になる（第１表参照）。

＜なぜ配管設備に効くのか＞

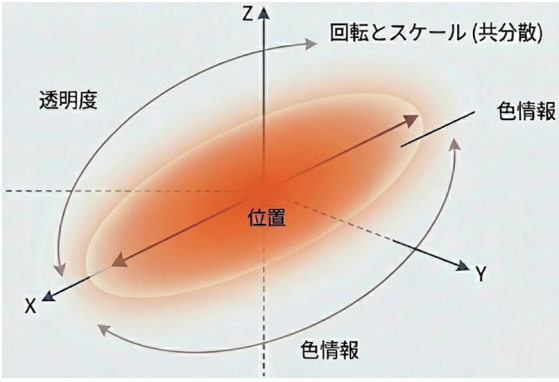
3DGSが配管設備の可視化で特に効果を発揮する理由の一つは、各ガウシアンが単一のRGB色ではなく、SH係数（球面調和関数）による視点依存の見え方を持てる点にある[1]。通常の点群やフォトグラメトリでは、ある一点の色は固定されている。しかし3DGSでは、見る角度に応じて「正面から見ると明るいグレーだが、斜めから見ると金属光沢で白く光る」といった表現が可能になる。これにより、ステンレス配管の質感やバルブの光沢などを、単純なテクスチャ貼りよりも滑らかに再現できる。ただし、SHは物理ベースの反射・屈折を厳密にシミュレーションするものではないため、鏡面反射や複雑な透明体では、不自然なにじみやチラつきが生じる場合もあり、万能ではない点には留意が必要だ。

２－２　構築プロセスとアルゴリズムの挙動

3DGSの再現は、撮影した複数画像と一致するように、ガウシアンのパラメータをGPU上で反復的に最適化していくプロセスである。現場で「効果的な撮影方法」を考える上では、裏側でどの値が調整され、どのような条件下でガウシアンが増える／減るのかを押さえておくと、判断が早くなる。

(1)　ガウシアンが持つ主なパラメータ

3DGSにおける「一つのガウシアン」は、単なる点（XYZ座標）ではなく、空間に浮かぶ「色つきの楕円体」として定義される。コンピュータは、この楕円体一つひとつに対して、複数の属性情報を管理・最適化している。具体的には、空間内の中心座標を表す「位置（XYZ）」、楕円体がどの方向を向き、どの程度細長いか、あるいは丸いかを規定する「回転とスケール（共分散）」、ガウシアンの透け具合（濃さ）を決める「不透明度」、さらに表面の色や明るさ、見る角度による見え方の変化を含む「色情報（SH係数）」といった要素で構成される。



第１図　一つのガウシアンのイメージ図

(2)　再現・学習プロセス

3DGSの学習フローは、初期配置した粗いガウシアンを、少しずつ「写真に似せていく」作業と言える。計算された画像と実際の写真を重ね合わせ、「ここが太すぎる」「色が違う」といったズレを検出し、自動修正を繰り返す。ここで重要なのは、既存の点を動かすだけでなく、「ディテールが足りない場所には点を増やし、不要な点は消す」という「数の調整」までが自動

第１表　3D表現手法の比較（LiDAR／フォトグラメトリ／NeRF／3DGS）

比較項目	LiDAR（点群）	フォトグラメトリ	NeRF（ニューラル場）	3DGS（ガウシアン分布）
データ形式	点の集まり（XYZ）	面 ＋ 写真	見え方の場	楕円体の集まり
強み	寸法・形状精度	形状と見た目の両立	質感・反射の再現	写実性 ＋ 高速描画
弱み	拡大時の粗さ	金属・反射面に弱い	描画計算が重い	厳密な形状がない
主な用途	測量、寸法管理	形状記録、全体把握	映像制作、演出	現場共有、巡回確認

で行われる点だ。

このプロセスでは、写真と現況の差分を埋めるようにガウシアンの数や密度が自動調整されるが、あくまで「写真に写っている情報」をもとに最適化される点に留意が必要である。

(3) 撮影計画へのフィードバック

上記のアルゴリズム特性を踏まえると、現場での撮影時に注意すべきポイントが見えてくる。まず、「写っていない場所」は描画できないという点だ。アルゴリズムは画像に写っている情報しか学習できない。AIが想像で補完するわけではないため、配管の裏側やラックの下など、後で図面として「見たくなる場所」は、意識的にカメラを回り込ませて撮影する必要がある。また、「目印」がないと初期化に失敗する点にも注意が必要である。3DGSは学習の前段階として、「どの写真がどこから撮られたか」を計算する工程（SfM：Structure from Motion）が必須となる。このとき、システムは写真間で共通して写っている「特徴点」を探している。真っ白なタンクや、模様のない均一な壁は、この「特徴点」が見つからず、カメラ位置の特定に失敗しやすい。カメラ位置が確定しないと、その空間にガウシアンの「種」をまくことができず、結果として学習が進まずに穴が空いてしまう。

3. 事例：三重工場「液製造エリア」の3DGS化と品質評価

3－1　対象概要と検証の狙い

実証フィールドとした三重工場「液製造エリア」は、地上・地下ピット、および中二階を含む複雑な多層構造エリアである。本検証の狙いは、単なる「きれいなデジタルツイン作成」ではなく、「実務の代替可能性」の見極めにある。具体的には、現況把握の観点から複雑な配置関係を現地に行かずとも理解できるか、設備同定の観点からラベルやタグ等の文字情報がPC画面上で判読できるか、そして計測性の観点から3DGS上でのクリック計測は現場実測の代わりになるか、といった点を評価する。

3－2　撮影条件と使用機材、工数実績

撮影ルートの設計には細心の注意を払った。「後から見返したときに死角がない」状態を目指し、単に通路を往復するのではなく、機器の周りを螺旋状に回る「オービタル撮影」を実施した。使用機材については、LiDAR計測（形状・配置の裏取り・スケール基準用）にNavVis VLX、およびZ+F Imager、動画撮影（3DGS学習用・全体構成）にはInsta360 OneRS（6K）とOne X4（8K）を使用した。特に動画撮影では、歩行動画からフレームを切り出して学習させた。360度カメラを使用することで、撮影者の背後や天井裏など、意識外の領域も漏らさずデータ化する戦略をとった。さらに、静止画撮影（詳細テクスチャ学習用）としてSony α7Ⅲ（24MP）+FE 14mm F1.8 GMを併用した。工数実績としては、対象エリア約1,000m^{2}において、撮影に約120分（動画歩行撮影60分＋静止画撮影60分）、データ転送・前処理（動画からの静止画切り出し、Colmap用データ整理）に約300分、そして学習処理に約１日を要し、一連のデータ化が完了した。

3－3　評価設計

現場業務を加速させる「実務運用ツール」として定義し、その有用性を引き出す評価を行う。これに基づき、実務への貢献度を測る以下の３軸を設定した。

① 寸法：概略検討や計画立案において十分な精度が確保できているか。
② 再現性：現地にいるかのような感覚で、設備や系統を直感的に追えるか。
③ 鮮明度：必要な文字情報や詳細が明確に読み取れるか。

3－4　評価結果の詳細と技術的考察

(1) 寸法結果と技術的考察

3DGSは点群測距のように自己完結的な絶対スケールを持たないため、現場で取得した既知寸法を基準にスケーリングを行っている。本検証では、現地実測・3DGS計測ともに同一条件で３回測定し、中央値を代表値として比較した。

第２表　寸法比較結果（３回計測の中央値）

ID	測定項目	実測（mm）	3DGS（mm）	誤差（mm）
D1	ドア幅	2,368	2,540	+172
D2	柱芯 ↔ 柱芯	5,600	5,680	+80
D3	配管スパン	2,310	2,310	0

結果を第２表に示す。

＜所感と技術的要因＞

３項目の結果は誤差０～172mmの範囲となった。特に「ドア幅」では、実際の開口部よりも大きく計測される傾向が見られた。この誤差は、3DGSの描画原理が影響している可能性がある。3DGSは物体を明確な「面」ではなく、半透明のガウシアンの集合として表現するため、LiDARのようなハードエッジを持ちにくい。輪郭部では透明度のグラデーションが生じやすく、端点の判定が曖昧になった結果、プラス側の誤差（例：+172mm）として現れたと考えられる。一方で「配管スパン」は中央値が一致しているが、これは今回の条件では結果的に一致した可能性があり、測定誤差が常にゼロであることを示すものではない。とはいえ、端点を安定して定義できる対象では、実務検討の当たり付けに活用できる余地があると考えられる。なお、詳細な寸法が必要な箇所については、「3DGS上にLiDAR点群を重ねて表示する」ハイブリッド運用も技術的に可能である。配置関係や接続関係、対象物の見分けに必要な手がかりは3DGSで確保し、厳密な端点指定が必要な箇所は点群を参照することで、互いの弱点を補完できる。

(2)　再現性結果

数値化しにくい「現場のわかりやすさ」を判定した。一例を写真１に示す。まず配管接続については、判定を○とした。主幹から分岐への流れは明瞭に追える。特に２次元図面では重なって表現できない「高さ方向の迂回」や「バルブハンドルの向き」が直感的に理解でき、配管ルート検討において極めて有効である。次にバルブ・計器位置についても、判定は○である。「どこに何があるか」の同定は問題なし。型式の詳細特定までは難しいが、P&IDと照らし合わせるための空間インデックスとしては十分に機能する。一方でサポート・ラック下に関しては、判定は△となった。照明が届きにくい暗部や、配管が密集する奥まったエリアではノイズ（黒い靄のようなガウシアン）が乗りやすい。これは低照度下で画像の特徴点が抽出できず、学習が収束しなかった領域である。

写真１　評価対象とした3DGSビューの一例

(3)　鮮明度結果

撮影距離と文字サイズの関係性を確認した。これは「解像度」の問題であると同時に、「撮影計画」の問題でもある。具体的には、設備名称看板などの大サイズは距離に関わらず「全文判読可能」であったが、配管ラベル・流体名などの中サイズは近～中景の撮影データが含まれていれば「判読可能」となり、注意書き・銘板などの小サイズは基本的に「判読困難」という結果となった。ただし、撮影時に意図的に銘板へカメラを近づけたフレームが存在すれば、その視点付近では鮮明に復元される。つまり、読めないのは技術の限界というより、「撮影時に近づいていなかった」ことが主因であると考えられる。

(4)　データパフォーマンスと閲覧環境

再現直後の学習データは約700MBと巨大であったが、Web表示用に不要なガウシアンを削除し、SH係数を圧縮することで、最終的な配信デ

ータは約70MBまで軽量化できた。このサイズであれば、社内イントラネット経由でも遅延なく読み込め、一般的な業務用ノートPCやiPad Pro上で、滑らかな動作を確認できた。点群データ（数GB～数十GB）と比較して、配布・共有のハードルは劇的に低いと言える。

3－5　実務適用への示唆

検証の結果、3DGSは配管設備DXにおいて、以下の役割分担で導入するのが合理的であるとの結論に至った。

① 3DGSの主な活用場面は「合意形成」である。

② レイアウト把握、導線確認、関係者への説明資料としては、専門知識不要でブラウザで扱える3DGSが圧倒的に有利である。

③ 寸法は「当たり付け」と割り切る。

④ 誤差0～172mmという結果が示す通り、対象の質感によって精度がばらつく。詳細設計には従来通りLiDARを用い、3DGSは「搬入ルート検討」や「足場干渉チェック」など、数cmの誤差が許容される計画フェーズで活用すべきである。

⑤ 「撮り方」が品質を決める。

⑥ 鮮明度や再現性の欠落は、アルゴリズムよりも撮影時の「距離」と「死角」に起因する。現場活用を見据えるならば、漫然と歩くのではなく、「読みたい銘板には近づく」「測りたい区間には特徴を入れる」といった撮影ノウハウの標準化が不可欠である。

4. 運用シナリオ：保全・点検とIoT連携

前章までの検証により、3DGSは「数ミリ単位の精密計測」には不向きである反面、「現場の『ありのまま』を視覚的に共有する能力」においては高い有用性を持つことが明らかになった。この「視覚的再現性」と「計測誤差」という特性を踏まえ、単なる3Dビューワにとどまらない、現場の実務課題を解決するための具体的な運用シナリオを以下に設計する。

4－1　保全・点検における「段取り」の高度化

3DGSが保全・点検業務で効果を発揮する一つとして、現地作業前の「段取り」フェーズがある。これまでの「図面を探し、写真フォルダを漁る」時間を、3D空間探索へ置き換えることができる。作業環境の机上シミュレーションにおいては、対象設備までの動線、周辺機器の密集度、配管ラック下のクリアランスなどを、現地に行かずとも確認できる。特に配管更新工事においては、搬入する新設配管や機材が、既存の複雑なラックやケーブルトレイに干渉せず通せるルートが存在するか、3D上で疑似的にオブジェクトを動かして干渉チェックするプロセスが有効である。「工具を振り回せるスペースはあるか」「足場はどの規模で必要か」といった物理的な制約を事前に共有することで、現地で「行ってから無理だと気づく」手戻りを削減できる。また、協力会社との情報共有においても効果が大きい。外部の施工業者に対し、口頭や平面図だけでなく3DGS画面を共有しながら説明することで、認識の齟齬を防ぐ。「この配管の奥にあるバルブです」と画面上で指し示すことで、現地調査の同行回数を減らし、遠隔地からでも的確な指示出しが可能となる。ここで重要なのは、「3DGSは現地確認の完全な代替ではない」という認識を持つことである。最終的な安全確認や精密な判断は現地で行う必要がある。しかし、事前に3DGSで情報を整理し、仮説を持って現地に向かうことで、限られた現地滞在時間を「確認と意思決定」という高付加価値な業務に集中させることができる。

4－2　IoT連携：データと現場をつなぐ「空間インターフェース」

工場内では液位・圧力・流量などのIoTデータ収集が進んでいるが、異常発生時に「数値」と「物理的な場所」を即座に結びつけることは依然として難しい。3DGSは、このラストワンマイルを埋める「空間への入り口」として機能する。まず、アラームからの空間ジャンプについて、

設備管理システムで発報したアラームをトリガーに、3DGS上の該当座標へカメラ視点を自動移動させるシステムを構築する。数値データだけでは見えない「当該バルブ周辺の状況」を直感的に把握できる。次に、ドキュメントへのリンクハブとして、3DGS上の設備をクリックすることで、P&ID、過去の点検記録、整備手順書へアクセスできる導線を作る。「空間」をインデックスにすることで、フォルダ階層の奥深くにあるファイルを探す時間をゼロにする。ここでは3DGSを重厚な統合プラットフォームにするのではなく、既存のIoTダッシュボードと現場空間を繋ぐ「軽量なビューワ」として位置づけ、初動対応を支援する補完ツールとして運用するのが現実的であると考えている。

写真２　3DGSを空間インターフェースとして用いたIoTアラーム／保全情報の重畳表示イメージ

４－３　安全教育と技能伝承への転用

検証の中で見出された副次的な効果として、「安全教育」への活用がある。3DGSは現場の「圧迫感」や「見通しの悪さ」までリアルに再現するため、新人研修やKY（危険予知）活動において有効な教材となる。具体的にはバーチャル現場巡視において、「この配管は熱いので接触注意」「ここの段差は見落としやすい」といった危険箇所を3DGS上に注釈（アノテーション）として埋め込み、新人がバーチャルに巡回する。これは実際の現場に入る前の「予習」として機能し、現場経験の浅い作業員の安全意識を高めることができる。

5. おわりに：現場定着のための実装要件

本稿では、三重工場「液製造エリア」を対象に、3DGSの実務適用可能性を検証した。結論として、3DGSは高精度の代替ではなく、現場状況を直感的に共有するための空間情報として有効である。図面や写真では把握しにくい立体的な関係性の理解に寄与し、点群や実測と使い分けることで、現場理解を補完する実務ツールとして位置付けられる。

＜参考文献＞

(1)　Bernhard Kerbl・Georgios Kopanas・Thomas Leimkühler・George Drettakis：3D Gaussian Splatting for Real-Time Radiance Field Rendering（arXiv:2308.04079）（2023）
https://arxiv.org/abs/2308.04079

【筆者紹介】

花田　康之
㈱きもと　Digital Twin事業部

中村　友
㈱KOO