

ボクセル電子納品の可能性とプロトタイプ検証

前田建設工業(株) 正会員 ○長田 将吾
前田建設工業(株) 川西 敦士

1. 背景と目的

建設現場の電子納品は、図面や写真、各種検査データをデジタル媒体で提出する運用が広がっているにもかかわらず、多くの現場では二次元ファイルの保管と受け渡しに留まり、三次元と時間軸を横断した参照にまで踏み出せていないのが実情である。そして、定型フォルダと命名規則に依存する運用では、関連資料の再特定に手戻りが生じやすく、説明の導線も分断されやすい。土木分野では IFC 等の標準化が進むものの、地盤や土工など地理的要素の扱いにはなお課題が残るという感覚が根強い。

そこで本稿は、参照の第一原理をフォルダから切り離し、空間 ID とボクセルを組み合わせで〈地点×時点〉を第一級キーに据え直すやり方を提示する。ここでいうデジタルツインは、高精細形状の完全写像を目標にするのではなく、〈セル×時間〉で可換に参照できる説明責任の媒体として置き直す。写像の完全性よりも参照の一貫性と交換容易性を先に確保し、必要箇所のみ高精細の原点群や詳細モデルを重ねる、という現実解である。図 1 は、写真・図面・検査といった既存成果物をセル (x, y, f, z) へ束ね、属性紐づけを施すことで即座に到達できる導線を示している (図 1)。このように「戻り先が常にセル」であれば、説明は位置と時刻で合い、フォルダの構成差や命名の癖が吸収される。



図 1 既存成果物のセル束化：空間 ID (x, y, f, z) による属性紐づけと即時アクセス

以上を踏まえ、プロトタイプでは従来システムを踏襲しつつ、検索の起点を地図と時間情報へ移し、該当セルに結合された成果物を空間 ID×ボクセルの格納から取得し、ビューア上で方位・ズーム・時系列を保って確かめられるところまでを実装した。数量の優劣を競うのではなく、〈検索（位置・時刻）→取得（セル結合）→可視化（ボクセル空間）→連鎖到達（根拠束）〉が既存提出物と矛盾せず途切れず回る¹⁾か、すなわち参照の一貫性と可逆性が担保されるかを確認する。図 2 はこの参照ループの要点をまとめたもので、進行方向は実線で示し、可逆性（いつでもセルへ戻れる）を点線で示した (図 2)。

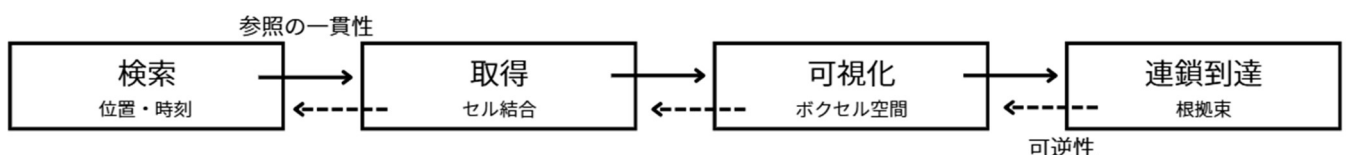


図 2 参照ループの骨子：検索→取得→可視化→連鎖到達（可逆／一貫）

2. 空間 ID とボクセル（基本の置き方）

空間 ID は、ズームレベル z と標高インデックス f、さらに経度・緯度インデックス x・y を組み合わせ、三次元空間を同じ語彙で扱うための枠である。二次元資料も同じ ID 体系に包摂するため、図面や写真、検査資料を三次元上の同じセルへ束ねられる。したがって、人の記憶と命名規則に寄りかかった探索をやめ、座標と時刻に埋め込まれた参照子で即達する運用へ移れる。ズームは包含関係を保って連続し、上位セルで全体像を

キーワード ボクセル電子納品、空間 ID、四次元時空間情報基盤¹⁾、点群、デジタルツイン

連絡先 〒102-8151 東京都千代田区富士見 2-10-2 前田建設工業株式会社 TEL 03-3355-3559

合わせ、下位セルで必要箇所だけを詰めるという現場の運び方がそのまま反映される。

ボクセルは、点群のような重いデータを立方体格子へ離散化し、セル代表値として軽く持つ置き方である。趣旨は「俯瞰の軽さを得る索引層」を先に立て、必要に応じて原本へ戻る経路を用意することであるが、本稿時点では往復の評価までは踏み込んでいない。図3に示す「原点群→離散化→俯瞰層→ズーム→詳細層」という往復は、将来の扱い方の見取り図であり、現段ではセル起点で既存成果物へ迷わず到達できるかを先に確かめている（図3）。

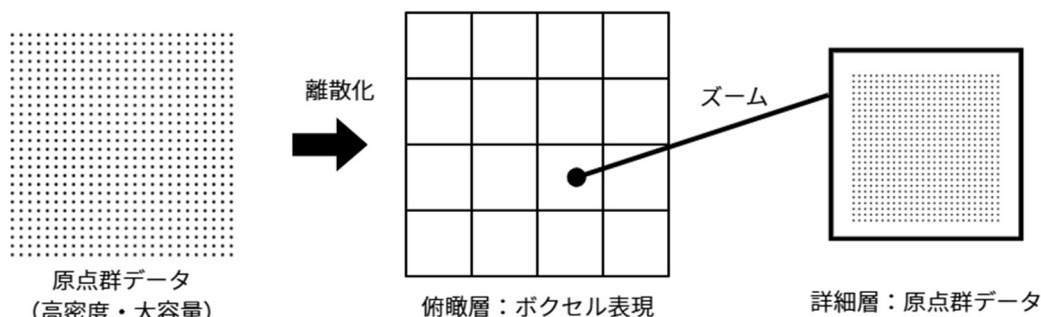


図3 俯瞰層と詳細層の往復（将来構想）：点群の離散化とセル起点の参照

非セマンティックな点群に対しては、セル代表値を占有率・強度・標高統計・局所粗さといった量的特徴に限定して持ち、分類に頼らず「同位置・異時刻」の比較で差分候補を挙げる使い方が現実的である。ズームで粒度を握り、候補セルだけ原点群を部分呼出して断面や近傍法線を確認し、説明は常にセルへ戻る。受け渡しの単位をセル束に固定し、履歴と根拠の所在を空間IDで合わせておけば、発注者側は写像の完全性ではなく再演性と復元性を一次基準にできる。

3. 参照モデル（セル×時間をキーにする考え方）

参照モデルの骨子は単純である。第一級キーを〈セル（x, y, f, z）×時間〉と定め、図1で束ねた資料束をそのキーへ結合し、図2の流れ（検索→取得→可視化→連鎖到達）を切れ目なく回す。原本の形式は壊さず索引層のみを換装するため、納品様式は従来どおりに保てる。版・権限・履歴（因果）はセルに従属させ、公開範囲やマスキングを空間的に制御する。ズームの解像度は目的に応じて握り、合意の粒度と記録の粒度を一致させる。誰がいつ何を根拠に判断したかを同一座標で再演でき、戻り先が常にセルである一貫性が担保される。

構造はCell/Source/Binding/Event/Roleに整理しておく運びがよい。Bindingは「理由・方法・信頼度」を最小項目とし、Eventは誰がいつどのCellで何を見て何を添えたかという薄い履歴である。これにより結合理由と因果の連なり、閲覧と編集の境界が見通せる。なお、電子成果品の解析系と点群の変換系は本モデルに従って別経路で処理し、次章のパイプラインで示すとおり最終的にセルで合流させる。

4. プロトタイプ構築の手順

前章の参照モデルを具体化するため、解析→変換→可視化の三段で処理系を設計した¹⁾。まず解析段階ではルートフォルダの電子成果品（図面、写真、Excel等）をリスト化し、ファイル名や作成日時、工種などの属性を抽出・登録する。次に変換段階では、点群をボクセル化し、空間IDに沿って位置情報を正規化したうえでデータベースへ格納する。以上の直列処理により多様なファイルを一元化し、参照の起点を〈セル×時間〉へ揃えた（図4）。

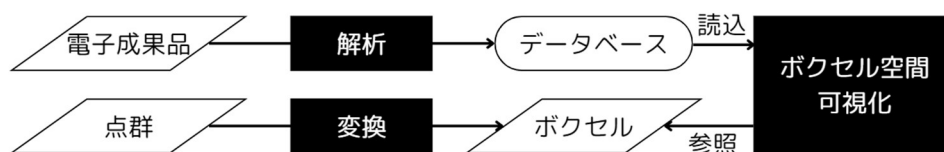


図4 ETLパイプライン：電子成果品の解析／点群の変換とセルでの合流

そして可視化段階では、三次元ビューア上にボクセル空間を表示し、同セルに連なる成果物や施工履歴へ連

鎖到達できるインタフェースを整えた。ビューアは方位の正規化とパンくず表示で包含関係を保ち、ミニマップで位置共有を速め、ワープ機能で迷いを減らす。さらに三人称視点切替とコントローラ操作に対応し、現地説明や会議で視点を合わせやすい作りとした。どの画面へ遷移しても戻り先は常にセルであり、位置・時刻・根拠の整合が崩れない（図 5）。



図 5 ボクセル空間ビューアの操作感：ミニマップ・方位正規化・コントローラ対応

今年度は複数現場・異種成果品を想定しながら、変換 PG の精度向上と空間 ID 対応、取込 PG の汎用化、可視化 PG の UI/UX 改善を並行で進めた。マインクラフト由来データのコンバート手順を確立し、独自の陰影処理で視認性を高めた。

5. ユースケースと検証の組み立て

本段では、〈検索→取得→可視化→連鎖到達〉の一連が既存提出物と矛盾せず途切れず回るかを確認めた。生産過程の出来形照査では、対象セルを指示すると施工前後の写真・設計図・点群断面・台帳抜粋がセル中心の方位に正規化されて同画面に揃い、微小差が効く場面では該当セルの原点群を部分呼出して往復参照できた。出来高では、算定対象のセル集合を確定し、集合に紐づく資料束へビューア側から順送できることを確認し、算定ロジック自体は既往運用を踏襲した。維持管理過程では、巡回点検と災害初動のシーンを想定し、タイムラインで同一セルの異時点を並置して差分候補を抽出し、そこから過年度の同位置記録、設計図、既往補修履歴へ戻り先を失わずに辿る導線を確認した。受け渡しはセル束を単位とし、発注者・受注者・点検事業者の関係は図 6 に示すとおりである（図 6）。

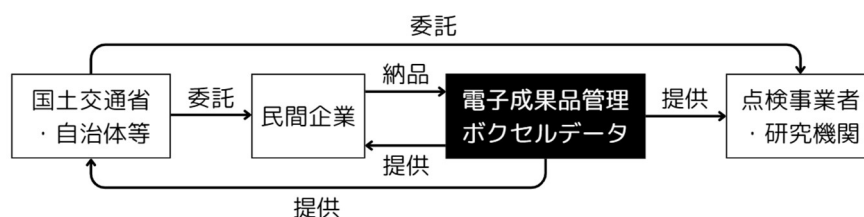


図 6 受け渡し関係図：発注者・受注者・点検事業者をつなぐセル束

これらに共通するのは、合意の粒度をズームで握り、参照の起点と戻り先をセルに固定するという一点である。差分の可視化は演算の誇示ではなく、説明の見出しをセルで立て、根拠の束を同座標で順送するための段取りに過ぎない。

6. 結果

提出形式を保持したまま、検索の起点を地図と時間情報へ移し、該当セルに結合された成果物を空間 ID×ボクセル格納から取得して三次元ビューアで連鎖閲覧する処理は、実務の器として成立した。プレビューは方位が正規化され、戻り先は常にセルであるため、位置・時刻・根拠が同じ画面上で保たれる。ズームの粒度変更に連動して上位・下位セルの包含関係がパンくずで示され、参照の焦点を動かしても導線は乱れない。

一方、規模の大きい現場ではセル数の増大に伴うレスポンスの揺らぎが観察され、プリタイル化、セル束キャッシュ、Z オーダ整理、原点群部分呼出時の I/O 最適化といった性能設計が有効であることも確認した。セル境界を跨ぐ点群の扱いは包含規則で一貫処理できるが、境界付近の判断を助ける表示（境界強調や閾値提示

等) の工夫余地がある。

表1 ユースケース別の効果(立場別の到達・説明・再特定)

立場	ユースケース	従来(As-Is)の実態	提案(To-Be)の変化
点検事業者	損傷の経時記録・修繕時の参照	調書や損傷図と写真・位置情報の突合が別系で手戻り	セル単位で時期・担当・地物条件が同画面に揃い、過年度履歴へ即達
管理者	維持管理計画・設計図書の参考	台帳と写真・図面が散在し、横断検索に時間	空間IDで束ね、損傷度の可視化と計画比較を同一座標で説明
施工・民間	施工段階のモデリング活用	詳細3Dモデル依存で重く、再配布が負担	ボクセルで俯瞰し必要時に原点群へ往復、合意のスピード向上

7. 考察(運用の目線での整理)

導入効果を左右するのは、参照の土台が発注者にとって無理なく使えるかどうかである。提出物の形式はそのままに、索引だけを〈セル×時間〉に置き換える最小介入は、受け手の業務様式を崩さずに位置と時刻で説明できる導線を提供する。これは自治体等の発注者が多様な受注者・ベンダから資料を受け取る状況に親和的であり、現場と庁内のレビューを同じ語彙で合わせやすい。また、ズームで合意の粒度を握れることは説明の迷いを減らし、再演を容易にする。セル従属の履歴が整えば、判断の因果と責任の所在を同一座標で追える。UIの工夫——ミニマップ、ワープ、三人称視点、方位の正規化——は視点共有の速度を上げ、説明の途切れを抑える。ボクセルは微小形状に不利だが、原点群との往復参照を前提に手順を標準化すれば、俯瞰と精密さの両立が図れる。性能面では、広域は粗タイル、局所はセル束という二層の先読み、Zオーダー整列、差分更新といった手当てでスケールに耐える。結局のところ、本方式の価値は「戻り先が常にセル」であることに集約される。

8. おわりに

本稿は、空間IDとボクセルを組み合わせて参照の起点を作り直し、電子納品を保管物から活用基盤へ転じさせる実装の筋道を示した。鍵は、提出物を置き換えず、参照の第一原理だけを〈セル×時間〉へ入れ替える最小介入である¹⁾。これにより、生産と維持管理の双方で、到達・再特定・説明の導線がそろい、説明責任を空間と時間に埋め込む見通しが立つ。

将来像については、写像の完全性を追うのではなく、〈セル×時間〉で参照の一貫性と交換容易性を先に確保する立場をとる。そのうえで、共通APIとイベント記録を薄く重ねれば、記録・共有・確認といった運用語彙を同じ器で無理なく接続でき、必要箇所だけ高精細データと呼び戻す“動かせる電子納品”(アクティブ電子納品)へ自然に近づく。運用の詳細設計や評価は今後の対象としつつ、戻り先を常にセルに固定する原則だけは崩さない。

なぜ今ボクセル電子納品から始めるのか。第一に、最小介入で効果が立ち上がるからである。提出物は従来のままに索引層だけを入れ替えれば、契約・要領・監査の枠組みを崩さず導線を短縮できる。第二に、将来拡張の舵を切りやすいからである。〈セル×時間〉で整えた参照子にAPIとイベントを重ねれば、セル単位の受け渡しや公開・署名、差分提示を同じ座標で扱える。今後は、空間ID周りのAPI互換と変換の整合を確認し、セル従属の版・権限・履歴の持ち方を実装レベルで整えるとともに、自治体との受け渡し実証を重ねる。最終的には、電子納品が「完了の合図」ではなく「運用の入口」として機能し続ける状態を標準化し、発注者にとってのデジタルツインを〈セル×時間〉の参照系として定着させる。

参考文献

1) IPA(情報処理推進機構), 4次元時空間情報利活用のための空間IDガイドライン(1.0版), pp.5~16, R7.4.28.