



# 3次元計測データのモデル化及び利活用のための調査研究

金森 紘代 (株式会社パスコ)

## 1. はじめに

3次元地理空間データの有効活用へ向けた動きは世界中で広がっている。一方で、基盤地図情報をはじめ、多くの地理空間データは2次元整備に留まっており、国内に広く3次元地理空間データが浸透しているとは言い難い。建築、土木分野においても2次元の設計や管理は多い。2次元管理では、設計変更や施設維持管理を行ってゆくうえでの非効率さが問題視されており、オリンピックや災害対策による需要増加と、労働力人口減少の課題もあるなかで、ICTを活かした3次元による地理空間データの利活用が期待されている。3次元計測技術においては、レーザスキャナの高性能化や多様化、写真測量を応用したSfM-MVS技術が実用化され、3次元計測データ取得の効率化が進んでいる。3次元計測技術の利点は、包括的なデータ取得である。その反面、ノイズを含み、不要な情報も多く取得してしまう為、データ容量が大きくなり、扱いづらいといった課題がある。これらを解決するためには、利用目的に合ったモデル化が有効である。しかしながら、3次元計測データのモデル化に標準仕様はなく、多くのソフトウェアが存在するため、効率の良い手法選択は容易ではない。

本稿では、まず3次元計測データの需要について調査し、分野ごとに整理した。続いて、求められる成果品作成に必要な市販ソフトウェアについて調査、一部試用評価した結果をもとに、主機能ごとにまとめた。最後に、調査過程で得た知見を国内の事例に適用し、手続き型モデリング (Procedural modeling) を取り入れた3次

元モデル化の取り組みについて解説する。

## 2. 3次元データの需要と利用法

3次元計測データの加工では、適切な処理フローやソフトウェアを選択するうえで、利用目的や求められる成果品形式への理解が重要になる。本章では、建築・土木、都市、森林、港湾、文化財の分野別に、需要と利用法について記載する。

### 2.1 建築・土木

建築・土木分野では、既存建造物の改修工事における地上レーザスキャナ (Terrestrial Laser Scanner、以後TLS) の活用が期待されている。具体的には、現況を表す点群を使った改修計画の立案や、3次元設計CADデータを重ねての干渉検査といった利用法がある。しかし、点群の扱いには高性能PCを必要とするなどの扱いにくさもあり、現況調査結果を最大限に活用するには、CADデータとしてのモデル化が求められる<sup>1)</sup>。3次元モデルを中心として建設生産システムの効率化と高度化を図ることを目的に導入されたCIM (Construction Information Modeling/Management) においては、土工、河川、ダム、橋梁、トンネルの5分野に分けて導入ガイドラインが策定されており、ファイル形式は国際標準であるIFC (Industry Foundation Classes) としている<sup>2)</sup>。また、土木現場におけるICT施工の導入として2016年から始まったi-Constructionでは、LandXML形式が推奨されている。

### 2.2 都市

都市分野での3次元データ整備には、解析や

シミュレーション、都市やインフラ整備の計画、災害時の対応検討など多くの活用法があると考えられており、海外では主要都市の3次元モデル作成が進められている。シンガポールの3次元都市モデル「バーチャル・シンガポール」はCityGML形式を採用しており、第一段階の公開を2018年に控えている<sup>3)</sup>。その他にもドイツ、スイス、フランス、中国などでCityGMLを用いた3次元都市モデルの構築が進められている<sup>4)</sup>。また、道路を含む高精度な3次元都市情報は、自動運転技術において、自己位置推定や走行経路特定のために重要である。日本国内では、車載レーザスキャナ (Mobile Laser Scanner、以後MLS) 等で道路現況を計測し、3次元地図化の実証・運用に向けた検討が行われている<sup>5)</sup>。公共施設における屋内ナビゲーションの検証も進められており、東京駅や成田空港では、GNSSを利用できない屋内での自己位置特定を可能にする、パブリックタグとスマートフォンアプリを利用した実証実験が行われている<sup>6)</sup>。土地勘のない人や外国人観光客が不自由なく利用でき、バリアフリー経路も考慮したナビゲーションには、屋内外データのシームレスな連携が必要である。そこで効率の良い屋内3次元地図の整備方法として、既存のフロアマップや2次元CADデータ、BIM (Building Information Modeling) モデルの活用も検討されている<sup>7)</sup>。

### 2.3 森林

森林分野においては、戦後造成されてきた人工林によって、日本国内の年間木材需要量を満たす水準に至っているにもかかわらず、森林資源が十分に活用されていない現状がある。背景には、80年代以降の木材価格低下による林業経営の採算性の悪化と、それに伴う産業従事者の減少がある。近年は、TLSやSLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 技術等による点群を活用し、立木の曲がりや胸

高直径、樹木の位置をCADデータとして抽出、3次元地図を作成することによって、熟練知識を必要とした作業の効率化が可能となった<sup>8)</sup>。これらの新手法は、既存情報を集約・共有する森林GISや森林クラウドといった試みとともに、適切な森林整備と資源活用において期待されている<sup>9)</sup>。

### 2.4 港湾

港湾分野では、自然災害からの防災・減災技術の高度化、老朽化の進む港湾施設の維持管理、年々大型化するコンテナ船の受け入れを可能にするための施設拡大工事、といった需要がある<sup>10)</sup>。また海上工事は、海象にも左右されるため、陸上での工事よりもリスクが高くなる。このような背景があるなかで、港湾事業においてもi-Constructionの導入が始まっており、UAV写真、TLS、マルチビーム測深 (Multi-Beam Echo Sounder、以後MBES) を使った活用事例と共に、出来形管理のマニュアルが公開されている<sup>11)</sup>。

### 2.5 文化財

文化財分野では小型オブジェクトから古墳地表面など、幅広い精度と大きさでの3次元計測が利用される。小型オブジェクトのレプリカ作成にはメッシュモデル化を要するが、デジタルアーカイブ化を目的としたものでは、点群のままでも保存することも増えている。また、歴史的建造物をTLSで計測し、BIM対応モデルを作成することによって、保全計画や改修工事の詳細記録を残すと共に、可視化や構造解析に役立てることができる<sup>12)</sup>。

## 3. 3次元計測データのモデル化処理フローとソフトウェア

3次元計測データの有効活用には、利用目的に合った手順とソフトウェアを使用した加工処

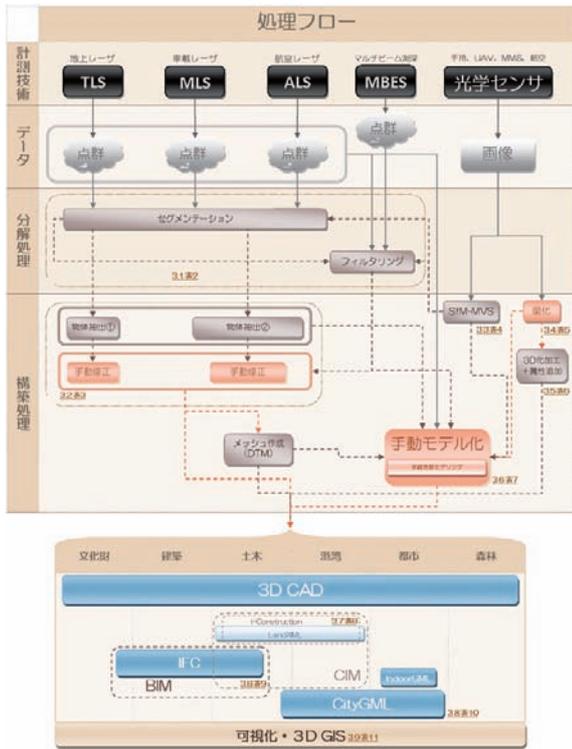


図1 処理フローと成果品

理が必要である。本章では、計測データの性質の違いを考慮した処理フロー（図1、上部）に沿って、前章で述べた成果品形式（図1、下部）を作成するためのソフトウェアについて、調査した結果を主機能ごとにまとめた（表1）。

### 3.1 点群データのセグメンテーションとフィルタリング

点群から3次元モデルを作成する場合、範囲または形状ごとに分割するセグメンテーションと、点数を減らすフィルタリングが必要になる。処理の種類は、隣接点の位置関係をもとに分けるもの、距離や法線ベクトルなどの計測器機との位置関係を利用したもの、反射強度や付属光学センサから各点に付与されたRGB情報を利用したもの、航空レーザスキャナ（Airborne

表1 ソフトウェア名と主機能（URL 2017年8月現在）

3章・参照番号	ソフトウェア名	機能									URL
		3.1 セグメンテーション ・フィルタリング	3.2 自動・半自動抽出	3.3 SIN-MVS	3.4 図化	3.5 属性追加	3.6 3次元加工と 手動モデル化	3.7 i-Construction	3.8 BIM・CIM, CityGML	3.9 可視化と共有	
1	Leica Cyclone MODEL	○	○								<a href="http://www.leica-geosystems.co.jp/Leica-Cyclone_6515.htm">http://www.leica-geosystems.co.jp/Leica-Cyclone_6515.htm</a>
2	FARO SCENE	○									<a href="http://www.faro.com/ja-jp/products/product-design/faro-scene/features/">http://www.faro.com/ja-jp/products/product-design/faro-scene/features/</a>
3	RiSCAN PRO	○									<a href="http://www.riegl-japan.co.jp/product/software/s-terrestrial/riscan-pro.html">http://www.riegl-japan.co.jp/product/software/s-terrestrial/riscan-pro.html</a>
4	RealWorks	○	○								<a href="http://www.nikon-trimble.co.jp/products/software/realworks.html">http://www.nikon-trimble.co.jp/products/software/realworks.html</a>
5	MAGNET Collage	○		○							<a href="http://www.topcon.co.jp/positioning/products/product/3dscanner/MAGNET_Collage_J.html">http://www.topcon.co.jp/positioning/products/product/3dscanner/MAGNET_Collage_J.html</a>
6	Infipoints	○	○					○	○		<a href="http://www.elysium.co.jp/productinfo/infipoints/">http://www.elysium.co.jp/productinfo/infipoints/</a>
7	TREND-POINT	○						○			<a href="http://const.fukuicompu.co.jp/products/trendpoint/index.html">http://const.fukuicompu.co.jp/products/trendpoint/index.html</a>
8	SITE-SCOPE	○						○			<a href="https://www.kentem.jp/products/sitescope/">https://www.kentem.jp/products/sitescope/</a>
9	NECレーザ測量データ フィルタリングツール	○									<a href="http://www.nec-solutioninnovators.co.jp/sl/laser/">http://www.nec-solutioninnovators.co.jp/sl/laser/</a>
10	Wing Earth	○	○					○			<a href="http://wingearth.com/">http://wingearth.com/</a>
11	LandForms	○						○			<a href="http://www.island.co.jp/products/landforms/">http://www.island.co.jp/products/landforms/</a>
12	Microstationアドオン:TerraScan	○	○								<a href="http://www.terrasolid.com/products/terrascanpage.php">http://www.terrasolid.com/products/terrascanpage.php</a>
13	VRMesh Studio	○	○								<a href="http://www.vrmesh.com/products/studio.asp">http://www.vrmesh.com/products/studio.asp</a>
14	DAT/EM Landscape	○									<a href="http://www.datem.com/landscape/">http://www.datem.com/landscape/</a>
15	Global Mapper LiDAR Module	○	○								<a href="http://www.bluemarblegeo.com/products/global-mapper-lidar.php">http://www.bluemarblegeo.com/products/global-mapper-lidar.php</a>
16	CloudCompare	○									<a href="http://www.danielgm.net/cc/">http://www.danielgm.net/cc/</a>
17	EdgeWise		○						○		<a href="http://www.clearedge3d.com/">http://www.clearedge3d.com/</a>
18	Leica HxMap 3D Modeler Advanced		○								<a href="http://leica-geosystems.com/products/airborne-systems/software/leica-hxmap">http://leica-geosystems.com/products/airborne-systems/software/leica-hxmap</a>
19	Bentley Descartes		○								<a href="https://www.bentley.com/ja/products/brands/descartes">https://www.bentley.com/ja/products/brands/descartes</a>
20	Pointfuse		○								<a href="http://pointfuse.com/">http://pointfuse.com/</a>
21	AutoCAD/Microstation アドオン: PointShape Pro		○								<a href="http://www.pointshape.com/bbs/content.php?ct_id=22&amp;cate_id=1060">http://www.pointshape.com/bbs/content.php?ct_id=22&amp;cate_id=1060</a>
22	PhotoScan (Professional Ed.)			○							<a href="http://www.agisoft.com/">http://www.agisoft.com/</a>
23	Pix4Dmapper Pro			○							<a href="https://pix4d.com/product/pix4dmapper/">https://pix4d.com/product/pix4dmapper/</a>
24	Autodesk ReCap Pro			○							<a href="https://www.autodesk.co.jp/products/recap/overview">https://www.autodesk.co.jp/products/recap/overview</a>

25	Image Master			○																<a href="http://www.topcon.co.jp/positioning/products/product/3dscanner/ImageMaster_J.html">http://www.topcon.co.jp/positioning/products/product/3dscanner/ImageMaster_J.html</a>
26	iWitnessPRO Agilis			○																<a href="http://www.photometrix.com.au/ja/iwitnesspro-agilis/">http://www.photometrix.com.au/ja/iwitnesspro-agilis/</a>
27	PhotoModeler UAS			○																<a href="https://www.photodeler.com/index.html">https://www.photodeler.com/index.html</a>
28	Inpho UASMaster			○																<a href="http://www.nikon-trimble.co.jp/products/geospatial/inpho_uasmaster.html">http://www.nikon-trimble.co.jp/products/geospatial/inpho_uasmaster.html</a>
29	Bentley Context Capture			○																<a href="https://www.bentley.com/en/products/product-line/reality-modeling-software/contextcapture">https://www.bentley.com/en/products/product-line/reality-modeling-software/contextcapture</a>
30	Street Factory			○																<a href="http://www.intelligence-airbusds.com/jp/4307-street-factory-3d">http://www.intelligence-airbusds.com/jp/4307-street-factory-3d</a>
31	SURE aerial			○																<a href="http://www.nframes.com/">http://www.nframes.com/</a>
32	Leica HxMap Core Image			○																<a href="http://leica-geosystems.com/products/airborne-systems/software/leica-hxmap">http://leica-geosystems.com/products/airborne-systems/software/leica-hxmap</a>
33	Skyline PhotoMesh			○																<a href="http://www.skylineglobe.com/skylineglobe/corporate/products/photomesh.aspx">http://www.skylineglobe.com/skylineglobe/corporate/products/photomesh.aspx</a>
34	iWitnessPRO			○																<a href="http://www.photometrix.com.au/ja/iwitnesspro/">http://www.photometrix.com.au/ja/iwitnesspro/</a>
35	Kuraves-MD			○																<a href="http://www.kurabo.co.jp/el/3d/kuraves_md_01.html">http://www.kurabo.co.jp/el/3d/kuraves_md_01.html</a>
36	DAT/EM Summit Evolution			○																<a href="http://www.datem.com/summit-evolution/">http://www.datem.com/summit-evolution/</a>
37	國化名人			○																<a href="https://meijin.survey.ne.jp/faq/">https://meijin.survey.ne.jp/faq/</a>
38	Leica HxMap 3D Modeler Basic			○						○										<a href="http://leica-geosystems.com/products/airborne-systems/software/leica-hxmap">http://leica-geosystems.com/products/airborne-systems/software/leica-hxmap</a>
39	CityEngine									○										<a href="https://www.esri.com/products/esri-cityengine/">https://www.esri.com/products/esri-cityengine/</a>
40	FME									○										<a href="https://www.safe.com/">https://www.safe.com/</a>
41	Autodesk AutoCAD Civil 3D									○	○									<a href="https://www.autodesk.co.jp/products/autocad-civil-3d/overview">https://www.autodesk.co.jp/products/autocad-civil-3d/overview</a>
42	Bentley Microstation									○										<a href="https://www.bentley.com/ja/products/brands/microstation">https://www.bentley.com/ja/products/brands/microstation</a>
43	3DCAD Studio									○										<a href="http://www.forum8.co.jp/product/uc1/cad/3dcad-studio.htm">http://www.forum8.co.jp/product/uc1/cad/3dcad-studio.htm</a>
44	SketchUp Pro									○	○									<a href="https://www.sketchup.com/ja">https://www.sketchup.com/ja</a>
45	Autodesk 3ds Max									○										<a href="https://www.autodesk.co.jp/products/3ds-max/overview">https://www.autodesk.co.jp/products/3ds-max/overview</a>
46	Rhinoceros									○										<a href="https://www.rhino3d.com/">https://www.rhino3d.com/</a>
47	Autodesk Revit									○	○									<a href="https://www.autodesk.co.jp/products/revit-family/overview">https://www.autodesk.co.jp/products/revit-family/overview</a>
48	Bentley AECOSim Building Designer									○	○									<a href="https://www.bentley.com/ja/products/brands/aecosim">https://www.bentley.com/ja/products/brands/aecosim</a>
49	Vectorworks									○	○									<a href="http://www.aanda.co.jp/Vectorworks2017/vwa_index.html">http://www.aanda.co.jp/Vectorworks2017/vwa_index.html</a>
50	ArchiCAD									○	○									<a href="http://archicad.graphisoft.co.jp/">http://archicad.graphisoft.co.jp/</a>
51	Rhinocerosアドオン: VisualARQ										○									<a href="http://www.visualarq.com/">http://www.visualarq.com/</a>
52	Autodesk Navisworks Manage										○									<a href="https://www.autodesk.co.jp/products/navisworks/overview">https://www.autodesk.co.jp/products/navisworks/overview</a>
53	Bentley Navigator										○									<a href="https://www.bentley.com/ja/products/product-line/project-delivery-software/bentley-navigator">https://www.bentley.com/ja/products/product-line/project-delivery-software/bentley-navigator</a>
54	Solibri Model Checker										○									<a href="http://www.aanda.co.jp/products/Solibri/">http://www.aanda.co.jp/products/Solibri/</a>
55	BuildingReconstruction										○									<a href="http://www.virtualcitysystems.de/en/products/buildingreconstruction">http://www.virtualcitysystems.de/en/products/buildingreconstruction</a>
56	SketchUpアドオン: CityEditor										○									<a href="https://extensions.sketchup.com/en/content/cityeditor-2">https://extensions.sketchup.com/en/content/cityeditor-2</a>
57	Rhinocerosアドオン: RhinoCity										○									<a href="http://www.rhinoterrain.com/en/products-1.html#.WZ5YKWeChaQ">http://www.rhinoterrain.com/en/products-1.html#.WZ5YKWeChaQ</a>
58	Autodesk Navisworks Freedom										○									<a href="https://www.autodesk.co.jp/products/navisworks/autodesk-navisworks-freedom">https://www.autodesk.co.jp/products/navisworks/autodesk-navisworks-freedom</a>
59	TREND-CORE										○									<a href="http://const.fukuicompu.co.jp/products/trendcore/index.html">http://const.fukuicompu.co.jp/products/trendcore/index.html</a>
60	Bentley View										○									<a href="https://www.bentley.com/ja/products/product-line/modeling-and-visualization-software/bentley-view">https://www.bentley.com/ja/products/product-line/modeling-and-visualization-software/bentley-view</a>
61	CESIUM										○									<a href="https://cesiumjs.org/index.html">https://cesiumjs.org/index.html</a>
62	CL3VER										○									<a href="https://www.cl3ver.com/">https://www.cl3ver.com/</a>
63	Potree										○									<a href="http://www.potree.org/">http://www.potree.org/</a>
64	Skyline TerraExplorer										○									<a href="http://www.skylineglobe.com/SkylineGlobe/corporate/Products/te_desktop.aspx">http://www.skylineglobe.com/SkylineGlobe/corporate/Products/te_desktop.aspx</a>
65	Autodesk Infracore										○									<a href="https://www.autodesk.co.jp/products/infracore/overview">https://www.autodesk.co.jp/products/infracore/overview</a>
66	Bentley LumenRT										○									<a href="https://www.bentley.com/en/products/product-line/modeling-and-visualization-software/lumenrt">https://www.bentley.com/en/products/product-line/modeling-and-visualization-software/lumenrt</a>
67	UC-win/Road										○									<a href="http://www.forum8.co.jp/product/ucwin/road/ucwin-road-1.htm">http://www.forum8.co.jp/product/ucwin/road/ucwin-road-1.htm</a>
68	ArcGIS Pro										○									<a href="https://pro.arcgis.com/ja/pro-app/get-started/whats-new-in-arcgis-pro.htm">https://pro.arcgis.com/ja/pro-app/get-started/whats-new-in-arcgis-pro.htm</a>
69	Bentley Pointools										○									<a href="https://www.bentley.com/ja/products/product-line/reality-modeling-software/bentley-pointools">https://www.bentley.com/ja/products/product-line/reality-modeling-software/bentley-pointools</a>
70	Arena4D Data Studio										○									<a href="http://veesus.com/veesus-arena4d-data-studio/">http://veesus.com/veesus-arena4d-data-studio/</a>
71	Bloom CE										○									<a href="https://bloomce.com/#/">https://bloomce.com/#/</a>

Laser Scanner、以後ALS) データにあるリターンエコーや時系列を利用したもの、またこれらの情報をもとに独自のアルゴリズムを取り入れたものなどがある。SfM-MVSソフトウェアで画像から生成された点群の場合でも、隣接点の

位置関係や、RGB情報を利用した処理は可能である。計測データや、抽出対象の特性に合わせたソフトウェアの活用による自動処理での対処が望ましいが、現状では正確度に問題があり、目視確認及び手動による編集は必須であ

表2 点群セグメンテーション・フィルタリングのソフトウェア

①TLS	②TLS、MLS
[1] Leica Cyclone MODEL	[6] InfiPoints
[2] FARO SCENE	[7] TREND-POINT
[3] RiSCAN PRO	[8] SiTE-SCOPE
[4] RealWorks	[9] NEC レーザ測量データフィルタリングツール
[5] MAGNET Collage	[10] Wing Earth
③ALS	④全般
[11] Landforms	[16] CloudCompare
[12] TerraScan (+ Microstation)	
[13] VRMesh Studio	
[14] DAT/EM Landscape	
[15] Global Mapper LiDAR Module	

表3 自動・半自動抽出モデル化ソフトウェア

物体抽出①(屋内：主にTLS)	物体抽出②(屋外：主にMLS、ALS、SfM-MVS)
[1] Leica Cyclone MODEL	[10] Wing Earth
[4] RealWorks	[13] VRMesh Studio
[6] InfiPoints	[12] TerraScan (+ Microstation)
[17] EdgeWise	[15] Global Mapper LiDAR Module
	[18] HxMap 3D Modeller Advanced
[19] Bentley Descartes	
[20] Pointfuse	
[21] PointShape Pro (+ Microstation/AutoCAD)	

る。表2に自動処理と手動編集機能を備えたソフトウェアを、得意とする計測技術別に記載する。

### 3.2 自動・半自動抽出モデル化

建造物の3次元モデル化、特にTLSデータにおいては、自動抽出モデル化のソフトウェアを使うことによって、作業の効率向上を図ることができる。ソフトウェア内部では、点群のセグメンテーションにより形状を判断し、平面、球、円柱(錐)、四角柱(錐)などの基本形状や、あらかじめライブラリに納められている形状を点群に当てはめる処理を行う。したがって、プラント施設や形鋼材の建造物のモデル化に適するが、既定外の形状や、配管や鋼材の経年変化による微量な変形などは、個々に手動での編集、モデル化が必要になる。固定と移動計測の違い、または広角域を取得可能なTLS・

MLSと、上空から下方向にのみ照射するALSでは、それぞれ点密度や点配値も異なるため、処理を得意とするソフトウェアが異なる。形鋼の当てはめは、H鋼やL字鋼などの種類を指定し、対象オブジェクトの点を数点指定することによる、半自動のモデル化である。このような、サンプル点を手動入力することによって、形状や線形を自動抽出する機能は、TLSよりも精度が落ちるMLSや、点の位置関係でしかセグメンテーションできないSfM-MVS点群のモデル化にも有効である。この他、ALS点群やSfM-MVS点群から建物屋根を抽出・モデル化するソフトウェアも含め、表3に記載する。

### 3.3 SfM-MVS

SfM-MVS技術で、画像から点群とテクスチャ付きのTINモデルを生成するソフトウェア(表4)は、手持カメラ写真やUAV写真といった小・中

表4 SfM-MVSソフトウェア

手持・UAV (小・中範囲)	航空写真 (広範囲)
[5] MAGNET Collage	[29] ContextCapture
[22] PhotoScan Professional	[30] Street Factory
[23] Pix4Dmapper Pro	[31] SURE aerial
[24] ReCap Pro	[32] HxMap Core Image
[25] Image Master	[33] Skyline PhotoMesh
[26] iWitnessPRO Agilis	
[27] PhotoModeler UAS	
[28] Inpho UASMaster	

表5 3次元デジタル図化ソフトウェア

並列写真	ステレオ立体視
[34] iWitnessPRO	[36] DAT/EM Summit Evolution
[35] Kuraves-MD	[37] 図化名人
[38] HxMap 3D Modeler Basic	

範囲を処理するものと、数千枚以上の航空写真を処理するものに分かれる。小・中範囲用のソフトウェアは、広範囲用に比べ安価だが、画素数や枚数に制限を設けているものもあり、注意が必要である。

### 3.4 3次元デジタル図化

2枚の写真から、3次元で対象物を手動抽出するソフトウェアを表5に記載する。SfM-MVSほどの画像間重複は必要なく、抽出する対象物を選んで作業することができる。2枚の写真を並列させるものと、3次元ディスプレイと液晶シャッター眼鏡で立体視をするものに分かれ、点と線で描くワイヤーフレームモデルを作成することができる。

表6 手続き型モデリングソフトウェア

ソフトウェア名	
[39] CityEngine	[40] FME

### 3.5 3次元化加工と属性追加

様々な2次元・3次元モデルの形式や属性などを組み合わせ、手続き型モデリングで3次元モデルを作成するソフトウェアを表6に記載する。手続き型モデリングは、アルゴリズムや基本ルールを作成し、それをもとに建物群や樹木などの3次元モデルを自動で作成することを主な目的として利用されてきた<sup>13)</sup>。近年は、ビジュアルプログラミング形式のGUI上で、手間のかかる処理や、繰り返し作業を自動化するためのルールファイルを作成・活用することによって、プログラミング言語の知識なしでの作業効率向上が可能となった。多くのファイル形式に対応しており、IFCとCityGML間の変換ツールとしての利用例もある<sup>14)</sup>。

### 3.6 手動モデル化

上記、機能や特性ごとにソフトウェアを分類

表7 手動モデル化ソフトウェア

①3次元CAD	② ① + メッシュ編集	③BIM・CIM対応
[41] AutoCAD (Civil 3D)	[45] 3ds Max	[47] Autodesk Revit
[42] Microstation	[46] Rhinoceros	[48] Bentley AECOsim
[43] 3DCAD Studio		[49] Vectorworks
[44] SketchUp Pro		[50] ArchiCAD

したが、自動処理で得られる結果は、完全性や正確度に問題があり、成果品としての仕上げには手動での編集が必要になる。また、i-Constructionの出来形評価や土量計算に必要な設計モデルも、2次元で設計されたものは、平面図と横断図からの3次元モデル化を要する。表7には、①立体オブジェクトを作成する、「押し出し」、「スイープ」、「ロフト」などの機能を有するもの、②SfM-MVSで生成されたメッシュモデルの編集機能を備え、数千m範囲の表示が可能なソフトウェアを記載する。③のBIM・CIM対応のソフトウェアは、①3次元CADの上位版のような機能を有するが、属性管理など、通常のCADよりも操作が複雑なため、形状再現のみを目的とした使用は、作業効率の低下につながる場合がある。

### 3.7 i-Construction対応

i-Constructionにおいては、陸地でのTLSとUAV写真、港湾ではMBESの使用についてのマニュアルが公開されている。データの作成については3.1及び3.3節を参照されたい。表8には、i-Constructionの成果品として必要な、DTM作成および、出来形評価と土量計算機能を有すソフトウェアを記載する。

表8 i-Construction対応ソフトウェア

ソフトウェア名	
[7] TREND-POINT	[11] Landforms
[8] SITE-SCOPE	[41] AutoCAD Civil 3D
[10] Wing Earth	

### 3.8 BIM・CIM、CityGML

BIMは属性情報をもつ3次元モデルをベース

に、建造物のライフサイクル（計画－設計－施工－運営－維持・修繕－解体）の全てにわたる関係者が、適宜情報の追加、更新、参照をしながら建造物に関する情報を構築、効率的な運用を行うことを目的としている。CIMは土木分野に特化した日本独自の考え方であり、国際的にはBIMに含まれる。

建造物のためのBIM・CIMモデル作成ソフトウェアを、①点群データを読み込み可能な建築意匠モデル作成、②IFC形式でのモデル化及び出力、③モデル統合、プロジェクト管理、干渉検査が可能なものに分類し、表9に記載する。

CityGMLは、3次元都市及び地形モデルにおいて、可視化や各種解析・シミュレーション、災害時の対応検討、都市・インフラ整備の計画などの様々な応用分野で共有利用し、効率的に維持更新することを目的に策定された符号化標準である<sup>15)</sup>。モデルを構成するオブジェクトごとに属性を持っている点では、IFCと似ているが、GIS的観点で構築されたCityGMLは、外観の表面形状を作成していくモデル化手法をとっている。一方、IFCはオブジェクトが実際に施工される要領でモデル化していくため、体積を持つソリッドで表されている(図2)<sup>16)</sup>。また、

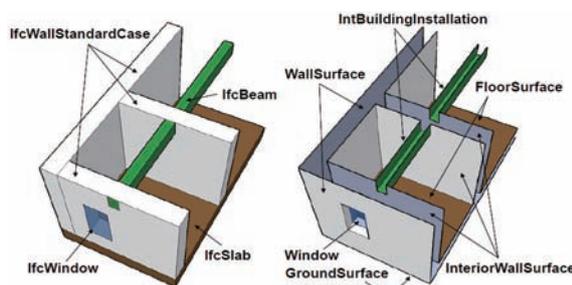


図2 IFC形式(左)とCityGML形式(右)建物モデルの比較<sup>16)</sup> 5ページ

表9 BIM・CIM対応ソフトウェア

①点群データを読み込み可能な建築意匠モデル作成	②IFC形式でのモデル化及び出力	③モデル統合、プロジェクト管理、干渉検査
[47] Autodesk Revit	[6] InfiPoints	[52] Navisworks Manage
[48] Bentley AECOsim	[17] EdgeWise (Revitへデータ移管)	[53] Bentley Navigator
[49] Vectorworks	[44] SketchUp Pro	[54] Solibri Model Checker
[50] ArchiCAD	[51] VisualARQ (Rhinocerosアドオン)	

表10 CityGML作成ソフトウェア

①既存2Dポリゴンの立上げ	②GUI上での作成、編集機能
[55] BuildingReconstruction	[56] CityEditor (SketchUp Proアドオン)
	[57] RhinoCity (Rhincerosアドオン)
[38] HxMap 3D Modeler Basic	

IFCには地理座標系（緯度・経度）の表現はなく、局所平面座標系扱いのため、相互変換には注意が必要である<sup>17)</sup>。

CityGMLをベースに屋内データの整備に特化したIndoorGMLや、IFCモデルを自動でCityGMLに変換する研究も行われている<sup>18)</sup>。CityGMLモデルを作成できるものとして、①既存の2次元建物ポリゴンを、点群から取得した高さで立体化するソフトウェア、②3次元モデル化や図化ソフトウェア上で、手動による壁面の凹凸なども作成可能なソフトウェアを表10に記載する。

### 3.9 可視化と共有

作成した3次元モデルや計測データを可視化し、関係者と共有するためのソフトウェアを表11に記載する。①の無償ビューアは、データを作成した側で配布用にコンパイルすることで、受取手はビューアを使って、データの確認や、簡易計測、注釈の追加などが行える。②は、サーバやクラウド上に保存された3次元モデルや点群を、インターネットブラウザで閲覧できるツールである。GISデータを重ねた可視化や、計測も可能である。③は、オブジェクトをライブラリから選択して配置する、といったモデル作成機能を持っており、解析・シミュレーションや、強化されたレンダリング機能による多彩な表現が可能である。そのほかにも、④のような、モデル

化は極力行わずに、点群と3次元CADモデル間の干渉検査や、ウォークスルー動画を作成するといったものもある。

## 4. 3次元計測データのモデル化の取り組み事例

TLS点群のモデル化及び、テクスチャ付き3次元TINとMLS点群を用いたモデル化の2事例について具体的に解説する。両例の共通課題として、点群と3次元TINはデータ容量が大きく、扱いづらいとの意見が顧客から挙げられた。また、技術者が各種データの利用に不慣れな場合や、対応ソフトウェアを持ち合わせていない場合もあり、こうした背景に留意して3次元計測データのモデル化を行った。

### 4.1 手法とソフトウェアの選択

自動処理ソフトウェアは、条件が適さなければ効率化につながらない場合もある。また、自動処理の結果には手動補完が必須であることから、これらの事例には手動モデル化での対応を選択した。Tommasi et al. (2016) は、手動モデル化ソフトウェアのRhinceros (表1) と、手続き型モデリングを可能にするアドオンGrasshopperを使い、モデル化の工程を一部自動化する例を示している<sup>19)</sup>。これを参考に、下記の事例にはRhincerosを使い、Grasshopper

表11 可視化と情報共有のためのソフトウェア

①無償ビューア	②WebGL	③統合モデル作成・解析	④点群のまま扱う
[6] InfiPoints	[61] CESIUM	[64] Skyline TerraExplorer	[69] Bentley Pointools
[58] Navisworks Freedom	[62] CL3VER	[65] InfraWorks	[70] Arena4D Data Studio
[59] TREND-CORE	[63] Potree	[66] LumenRT	[71] Bloom CE
[60] Bentley View		[67] UC-win/Road	
		[68] ArcGIS Pro	

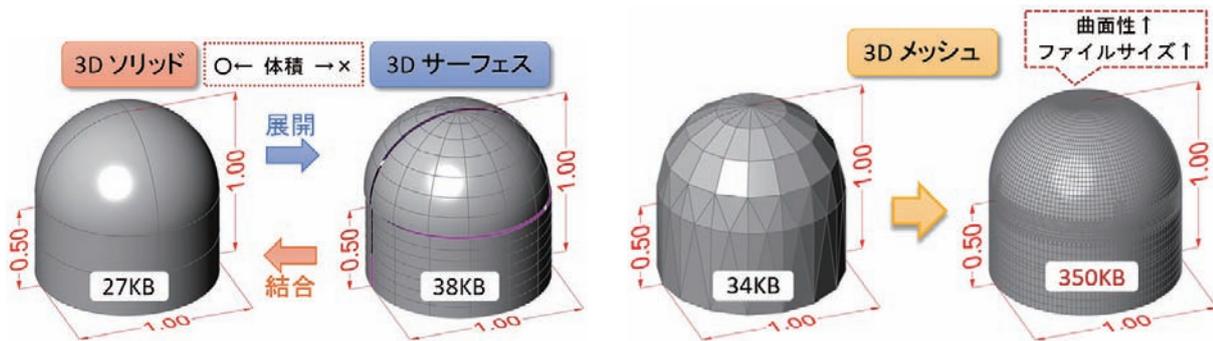


図3 オブジェクトタイプとファイルサイズ (DWG形式)

併用による効率化を図った。その他に、大量の点群の取り扱いを可能にするアドオンArena4D for Rhinoを使用した。

#### 4.2 3次元モデルの種類

モデル化で作成したオブジェクトタイプに、ソリッド、サーフェス、メッシュがある。同等の形状を表す場合でも、オブジェクトタイプによって異なる特徴を持っており、ファイルサイズや、加工修正時の性質、曲線表現の可否、体積の有無などの違いがある (図3)。

#### 4.3 事例①：TLS点群を用いた遮音壁の3次元モデル化及び図面作成

##### ・概要

本計測の目的は、高速道路の立体交差部分に設置された遮音壁の性能向上を図る業務において、現況の支柱鋼材と頭上橋梁の位置関係を正確に把握することである。

TLS点群 (図4、中央-右) の取得により、複雑な位置関係を把握することはできたが、道路側からのみの計測のため、実際に新規部材を取り付ける鋼材の裏側は取得できないという課題があった。大部分でH鋼支柱の側面が

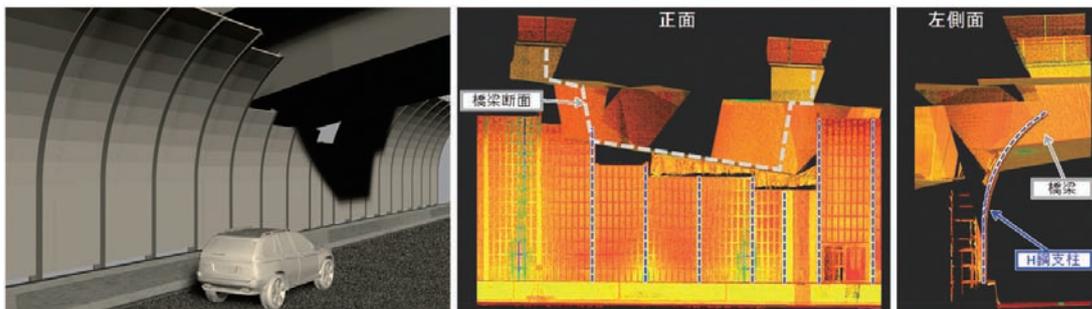


図4 現場イメージモデル (左) とTLS点群 (中央、右)

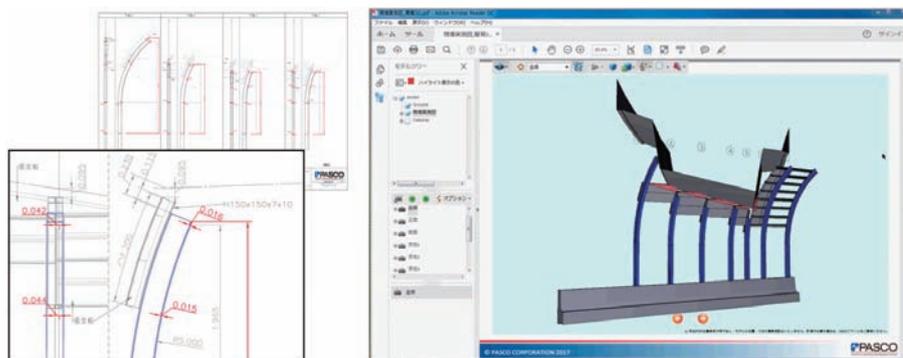


図5 寸法図面 (左) と3D PDF (右)

取得できていないため、自動抽出モデル化のソフトウェアも有効活用することはできない。そこでまず、①遮音壁の竣工図を参考に、支柱鋼材を点群として取得できている部分に当てはめながらソリッドとしてモデル化し、頭上橋梁も点群に沿ってサーフェスとしてモデル化した。次に、②既知情報をもとに作成された仮設計図から新規部材をソリッドモデル化し、①でモデル化した現況支柱鋼材に実際に設置するように配置した。これにより、仮設計図通りに新規部材を設置した場合の、頭上橋梁との予測接触点を求めることができた。また、設計変更には距離間隔をmm単位で明確にする必要があり、モデルを基に2次元寸法図面(図5左)を作成した。元の点群ファイルはLAS形式で926MBあったが、モデル化により3.2MB(DWG形式)まで軽量化され、CADソフトウェアを使わずに3次元モデルを表示確認できる3D PDF(図5右)としても出力が可能になった。

・モデル化手法

新規部材が設置されるH鋼支柱は、各支柱

の点群断面から作成したパス(軌道)に沿って、支柱断面線形を移動させることにより立体化する「スイープ」機能を使ってモデル化した。この作業の効率化と、一貫性を保つためにGrasshopperを使用している。スイープで鋼材を正確に立体化するためには、パス線形に対して断面を鉛直に配置する必要がある。しかし、高さ5mを超える現況鋼材は、完全な垂直ではないため、このわずかに傾いた線形に対し、正確に断面線形を配置することは困難である。そこで、パス線形の始点に対し、断面線形を鉛直に配置、スイープさせる処理をGrasshopper(図6)で構築した。Grasshopper内では、プレビュー表示(図7)が可能であり、生成されるモデルと点群の差異を確認しながら、パス線形を微修正することによって、点群に忠実な3次元モデルを作成することができる。また、断面線形は、別ファイルに保存しているため、異なる断面形状をそれぞれ保存しておき、読み込み参照ファイルを入れ替えることによって、他の鋼材形状のモデル化も効率的に行うことが可能である。

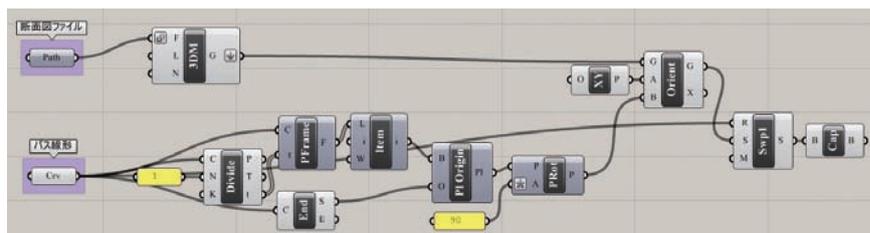


図6 Grasshopper内の処理フロー

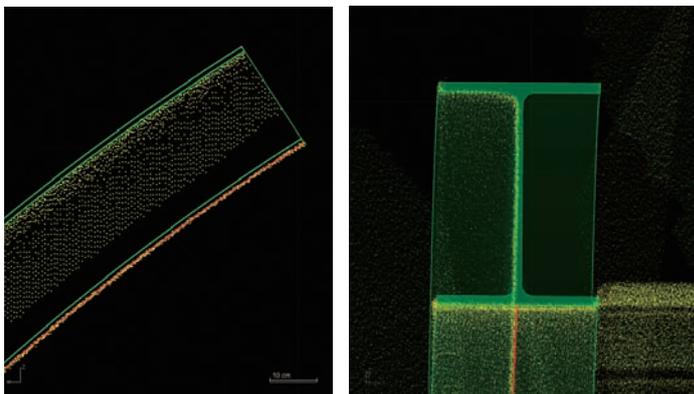


図7 点群と重ね合わせたパス線形(赤)とスイープ結果プレビュー(緑)



図8 属性を分けた完成3次元モデル(メッシュ)

#### 4.4 事例②：航空写真とMLS点群を用いた3次元都市モデルの作成

##### ・概要

3次元都市モデルは、様々な解析やシミュレーションに利用することができる。しかし、航空写真から自動生成された3次元TINのデータ容量は大きく、扱える解析ソフトウェアが限られる。また、地面と建物がつながって生成されるため、属性を付けることも困難である。そこで本例では、3次元TINを利用して建物モデルを作成し、地上付近の窓や樹木、街灯、道路標識などはMLS点群からモデル化した(図8)。

##### ・モデル化手法

3.2節で述べたように、建物モデルを自動生成するソフトウェアはすでに存在するが、完全性や正確度に問題があるため、手動での補完作業を要する。その他、既存建物ポリゴンデータの活用も試みたが、本例では地図情報レベル500程度を目指しており、そのままで利用はできな

かった。多量の手動補完・編集作業は、初めから手動モデル化を行う以上の手間と時間がかかる場合もあるため、3次元TINをRhincerosに取り込み、オルソ画像を図化する要領で建物ポリゴンを作成した。ポリゴンの高さ合わせには、3次元TINから作成したDSMに合わせて、高さを自動修正する処理をGrasshopperで構築し、作業時間の短縮を図った。目視確認と適宜修正を行ったポリゴンは、垂直押し出しでソリッド化した後、隣接・重複部分を統合し、建物別のソリッドモデルを生成した(図9)。

道路標識や信号、街灯、その他看板など細かな地物についてはMLS点群を参照しながら作成した。道路標識や街灯など(図10)は、可能な限り同一オブジェクトを複製し、位置修正を行うことで対応した。

樹木は、球、楕円体、円錐で表したシンプルなモデル化を行った(図11)。枝張りを平面円で描き、おおよその中間高に配置、立体化と樹幹の生成作業はGrasshopperで自動化した(図12)。

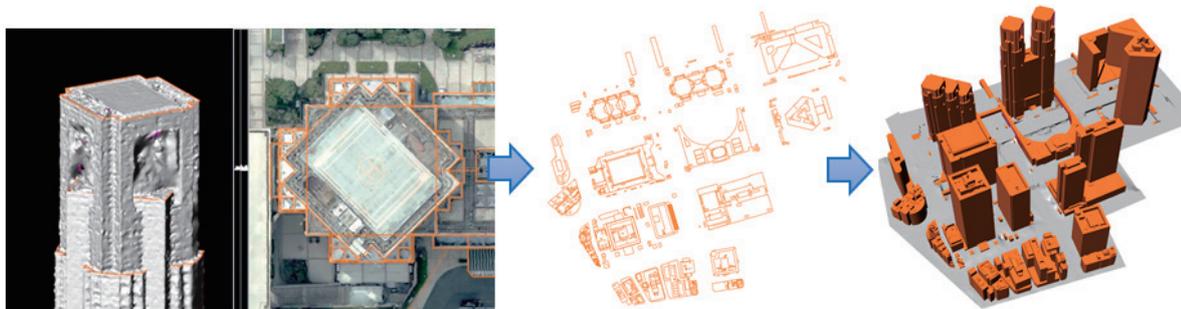


図9 建物のモデル化の流れ(3次元TIN→建物ポリゴン→立体建物モデル)



図10 地上目線のMLS点群と3次元モデル(街灯、道路標識、樹木、建物)

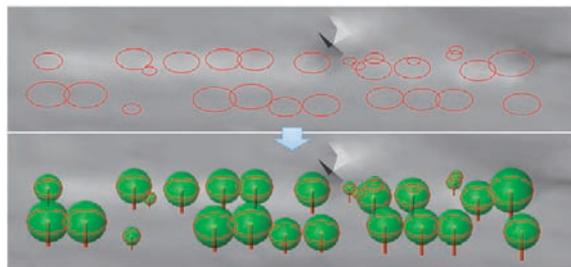


図11 樹木生成用の円(上)とGrasshopperで生成した樹木モデル

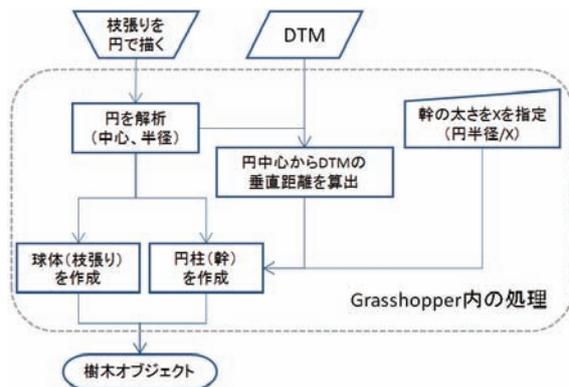


図12 球体樹木モデルの生成フロー

## 5. まとめ

本稿では、3次元計測における分野別の需要と利用法について調査するとともに、計測データから成果品を作成するまでの処理フローと、対応するソフトウェアについてまとめた。3次元計測データの活用にはモデル化が有効であり、自動モデル化ソフトウェアも多く市場に出ている。しかしながら、自動処理結果に最終成果品としての質は伴っておらず、手動補完作業は必須である。これらの考察と海外の研究を参考に、有用性の高いソフトウェアRhinocerosを使用した手動モデル化を、国内での事例に適用した。成果品は3次元CADデータだが、今回の調査や事例適用で得た知見は、IFCやCityGMLに対応した3次元計測データのモデル化に応用が可能と考える。今後も、市販ソフトウェアや標準仕様についての動向を追い、モデル化の効率化と有効活用に努めていきたい。

3次元データには多くの活用法が期待されており、労働力人口の減少や自然災害といった課題の多い日本にとっても、解決の糸口となりうるものである。手動でのモデル化は手間とコストのかかる作業であるが、民間レベルでの3次元の活用及び技術者の増加は、自動化の技術の更なる発展、実用化の促進につながると考える。本稿がその一助となれば幸いである。

## 謝辞

信和設計株式会社様より、遮音壁事例の本稿への記載においてご協力を頂いた。ここに記して、感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) (一財) 建築コスト管理システム研究所：3D スキャナーの活用について、建築コスト研究、No.88, pp. 42-48, 1 2015.
- 2) CIM導入推進委員会、CIM導入ガイドライン(案) 第1編 共通編、国土交通省、2017.
- 3) 家入龍太：2018年に完成！シンガポールが国土を丸ごと3Dモデル化、2016/3/4. [オンライン], <http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/atcl/knpcolumn/14/546679/022900019/>. [アクセス日：2016/5/16].
- 4) 一般財団法人日本情報経済社会推進協会：平成23年度電子経済産業省推進費(空間位置情報コードの利活用等のためのサービスモデルに関する調査事業、経済産業省、2012.
- 5) 内閣官房IT総合戦略室：自動運転の実現に向けたデータ基盤整備の方向(案) 資料4、2017.
- 6) 国土政策局：高精度測位社会プロジェクトについて 資料3、国土交通相、2017.
- 7) 地理地殻活動研究センター：①3次元地図の整備・更新技術 - 既存資料等からの地図作成 - 資料3、国土地理院、2017.
- 8) woodinfo：地上型3Dレーザースキャナによる森林調査と結果を活用した林業再生、第13回 3次元計測フォーラム、2017.
- 9) 林野庁 林政部企画課：平成28年度 森林及び林業の動向、林野庁、2017.
- 10) 小泉哲也：港湾技術の開発動向と今後の展望、国総研レポート2015、pp. 36-37, 2015.
- 11) 港湾におけるICT導入検討委員会：第1回委員会資料 資料1、国土交通省、2016.

- 12) S. Logothetis, A. Delinasiou, E. Stylianidis: Building Information Modelling for Cultural Heritage: A Review, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Taipei, 2015.
- 13) B. Ganster, R. Klein: An Integrated Framework for Procedural Modeling, in proceedings of Spring Conference on Computer Graphics 2007, 2007.
- 14) DeanAtSafe: FME Knowledge Center, 2016/6/17. [オンライン]. <https://knowledge.safe.com/articles/1024/bim-to-gis-advanced-ifc-lod-200-to-lod-3-citygml.html>. [アクセス日: 2017/7/18].
- 15) 石丸伸裕: 3次元地理空間データCityGML/IndoorGMLに関する国際標準化活動、2014.
- 16) C. Nagel, A. Stadler, T. H. Kolbe: Conceptual Requirements for the Automatic Reconstruction of Building Information Models from Uninterpreted 3D Models, In Proceedings of Academic Track of Geoweb 2009 Conference, Vancouver, 2009.
- 17) R. Kaden, C. Clemen: BIM and GIS: Digital Terrain Models, Topographic Information Models, CityModels, Formats and Standards, Helsinki: FIG Working Week 2017, 2017.
- 18) L. v. Berlo, R. d. Laa: Integration of BIM and GIS: The development of the CityGML GeoBIM extension, Berlin, Germany, 2010.
- 19) C. Tommasi, C. Achille, F. Fassi: From Point Cloud to BIM: A Modelling Challenge in the Cultural Heritage Field, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Prague, 2016.

■執筆者

金森 紘代 (かなもり ひろよ)  
株式会社パスコ  
技術統括本部新空間技術部  
hiirry1603@pasco.co.jp

