

## (48) 点群データ計測の利用場面と 解析・処理技術の調査研究

田中 成典<sup>1</sup>・窪田 諭<sup>2</sup>・今井 龍一<sup>3</sup>・  
中村 健二<sup>4</sup>・山本 雄平<sup>5</sup>・寺口 敏生<sup>6</sup>・櫻井 淳<sup>7</sup>

<sup>1</sup>正会員 関西大学教授 総合情報学部 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2丁目1番1号)

E-mail: tanaka@res.kutc.kansai-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 関西大学准教授 環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3番35号)

E-mail: skubota@kansai-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 東京都市大学准教授 工学部 (〒158-8557 東京都世田谷区玉堤1丁目28番1号)

E-mail: imair@tcu.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 大阪経済大学准教授 情報社会学部 (〒533-8533 大阪市東淀川区大隈2丁目2番8号)

E-mail: k-nakamu@osaka-ue.ac.jp

<sup>5</sup>非会員 関西大学助教 先端科学技術推進機構 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3番35号)

E-mail: y.yamamo@kansai-u.ac.jp

<sup>6</sup>非会員 関西大学助教 先端科学技術推進機構 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3番35号)

E-mail: t.terag@kansai-u.ac.jp

<sup>7</sup>学生会員 関西大学大学院 総合情報学研究科 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2丁目1番1号)

E-mail: k400448@kansai-u.ac.jp

社会基盤の維持管理や安心安全・防災等の分野において、様々な機器や解析・処理技術を用い、構造物や地形の状況を正確かつ効率的に把握するための計測技術が研究開発されている。その中でも、著者らは UAV を用いたレーザ計測技術に着目し、その計測システムと解析・処理技術の開発、それらの普及を目的とした運用モデルの提案等の研究を実施している。本論文では、これらの研究活動の基礎資料の作成として実施した網羅的な技術や特許の調査成果を取りまとめ、国内の計測技術の動向について明らかにした。

**Key Words:** UAV, laser scanner, point cloud data, i-Construction

### 1. はじめに

高度経済成長期に集中的に建設された社会基盤は年々老朽化が進んでおり、維持管理や更新に対する需要が高まっている。また、地形の変化や構造物の倒壊を伴う土砂災害や地震が頻発している。これらの土木分野や安心安全・防災分野におけるニーズに基づき、構造物や地形の状況を様々な計測機器や解析・処理技術により座標情報を持つ点群データとして正確かつ効率的に把握するための取り組みが実施されている。以上の社会的動向を受けて、航空レーザ測量やMMS (Mobile Mapping System)、地上設置型レーザスキャナ等により計測された3次元空間の座標情報である点群データの利活用に注目が集まっており、近年では特に UAV (無人航空機: Unmanned Aerial Vehicle) を用いた写真測量技術が研究されている。UAV は運用範囲が広く地形等の制約を受けにくい

め、UAV を用いた計測技術は、施工の品質管理や構造物の点検作業等、公共事業での活用も期待されている。2016年3月30日には、国土交通省より、i-Constructionの施策の一環として発表された「新たに導入する3次元データによる15の基準および積算基準<sup>1)</sup>」の中に、「UAVを用いた公共測量マニュアル(案)<sup>2)</sup>」や「空中写真測量(無人航空機)を用いた出来形管理要領(土工編)(案)<sup>3)</sup>」及び「空中写真測量(無人航空機)を用いた出来形管理の監督・検査要領(土工編)(案)<sup>4)</sup>」が含まれた。

しかし、現在の UAV による計測は、カメラで撮影した連続写真に SfM (Structure from Motion) 等の画像処理技術を適用し擬似的な3次元情報を構築する空中写真測量が主流であり、「日照条件の影響を受けやすい点」、「市場で利用されているソフトウェアが主に海外製であり、アルゴリズムがブラックボックス化されている点」、

「点群データの生成に膨大な時間を必要とする点」等の技術的課題がある。

そこで、著者らは、UAVによる空中写真測量の技術的課題を解決し土木分野や安心安全・防災分野での活用を促進するため、UAVにレーザスキャナを搭載した計測システム、点群データの解析・処理技術とその運用モデルについて研究開発を実施している。2015年度は、研究の第一段階として、既存技術の利用場面、レーザ計測機器、点群データの計測解析・処理技術及び運用モデルについての現状を調査した。その結果得られた知見の一部として、本論文では「計測技術の利用場面」と「点群データの解析・処理技術」について調査結果を報告する。

## 2. 調査項目と調査方法

### (1) 計測技術の利用場面の調査

本調査では、各計測技術の特徴を分析することを目的に、土木学会（JSCE：Japan Society of Civil Engineers）と日本写真測量学会（JSPRS：Japan Society of Photogrammetry and Remote Sensing）に投稿された学術論文を対象に、利用場面を調査した。調査対象は、2011年1月から2015年12月までの5年間に発表された学術論文とし、論文検索サイト「J-STAGE」の全文検索機能を用いて、特定のキーワードを含む文献のみを抽出した。調査に用いたキーワードの一覧と抽出された各学会の論文件数（項目ごとに重複含む）を表-1に示す。

表-1に示すキーワードにて取得された論文のうち、「GPS」については、検索件数が膨大であり、かつ利用場面が土木分野や安心安全・防災分野でないものが多かったことから、本調査では対象外とした。

調査の結果取得した論文のうち、本論文では、UAV、点群データ及び写真測量のいずれかの技術を活用し、かつ利用場面が明記されている文献のみを分析対象とする。利用場面が記載されている文献については、より詳細に、土木分野における計画・調査・測量、設計・積算、工事・施工、維持管理及び安心安全・防災の5種類に分けて分析した。以上の調査結果を基に、UAV、点群データ及び写真測量の特徴と各技術の主な利用場面について整理した。

### (2) 点群データの解析・処理技術の調査

本調査では、既存の点群データの解析・処理技術を網羅的に調査することを目的に、市販されているソフトウェアと特許を調査した。調査項目は、「点群データ処理技術」、「点群データ解析技術」及び「点群データ解析・処理に関する特許」の3項目である。

表-1 利用場面の調査に用いたキーワード一覧

No.	調査キーワード	件数	
		JSPRS	JSCE
(1)	UAV   UAS   無人航空機   無人飛行機	10	14
(2)	ドローン   Drone	1	1
(3)	レーザ   測域センサ   3次元スキャナ   3Dスキャナ	47	127
(4)	LIDAR	17	28
(5)	IMU   INU   IGU   IRU	13	16
(6)	INS   AHRS   慣性計測   慣性航法	3	19
(7)	GPS   GLONASS   Galileo   GNSS	55	※対象外
(8)	点群   点列   point cloud	39	91
(9)	写真測量   SfM   Structure from motion	96	133
合計		281	429

点群データ解析技術の調査では、点群データ処理の経験豊富な専門家に対し、点群データ解析の作業フローのヒアリングを実施した。その結果、キネマティック解析、自己位置推定及び点群作成の3つの技術を経て、MMSにて計測した点群データを解析することになった。このことから、上述の3つの技術を実現する市販のソフトウェアについて調査した。また、UAVの写真測量で用いられるソフトウェアについても合わせて調査した。ソフトウェアの調査では、Webページ上に公開されているカタログの情報を整理し、入手可能なものについては、実利用を通じた技術調査を実施した。以上の調査を通じて、点群データ解析技術を整理した。

点群データ処理技術の調査では、関連技術を一般的な処理と利用場面に特化した処理の2種類に分け、それらを実現する市販のソフトウェアを調査した。ここで、一般的な処理とは、点群データの読み込みと書き込み、モデルの閲覧、点群削除及び位置情報の付与等の点群データの利活用や高精度にするための汎用的な処理を指す。一方、利用場面に特化した処理とは、土木分野の各フェーズや安心安全・防災等、利用場面が明確な処理を指す。ソフトウェアの調査では、点群データ解析技術の調査と同様、Web上のカタログ情報の整理と一部ソフトウェアでの実利用を通じた技術調査を行った。以上の調査を通じて、点群データ処理技術の整理した。

点群データの解析・処理技術に関する特許の調査では、関連技術に関する日本国内の特許と公開特許公報（特開）を調査した。これらの調査では、特許情報プラットフォーム「J-PlatPat<sup>®</sup>」におけるキーワード検索を用いた。そして、取得した検索結果のうち、特に関係が深いと思われるものを調査対象として選定し、その内容を精読・分析した。点群データの解析・処理技術に関する特許調

査対象を表-2 に示す。以上の調査を通じて、既存の点群データ解析・処理技術に関する特許を整理した。

### 3. 調査結果と考察

#### (1) 計測技術の利用場面の調査結果

調査の結果得られた利用目的別分類の論文件数を表-3 に、計測技術と利用分野の関係を表-4 に示す。

表-3 より、計測技術の既存の利用場面は、主に計画・調査・測量フェーズと維持管理フェーズ及び安心安全・防災フェーズであり、設計・積算フェーズや工事・施工フェーズでは、検索件数が少なかった。これは、過去の研究では施工前や施工後のような工事期間外での計測事例が多かったためと考えられる。しかし、工事・施工フェーズでは、土木工事の施工管理に関する新基準が施行されたことにより、施工分野での利用事例は増加しており、今後は出来高・出来形管理での利用が見込まれる。設計・積算フェーズにおいても、前後のフェーズでの計測成果との差分により、施工に必要な土量を算出する技術<sup>9)</sup>や設計通りに施工できているかを評価する技術が考えられる。UAV を利用して広範囲の計測に係るコストを低減できることから、UAV による計測技術とその成果の活用分野は拡大していくことが考えられる。

また、表-4 より、計測技術の利用場面としては、安心安全・防災フェーズが最も事例が多い結果となった。これは、2011年3月の東日本大震災以降、防災対策や被災後の対応への関心が高まったためと考えられる。UAV を用いた事例が多いのは、構造物の倒壊を伴う災害時における被災者の探索手法<sup>7)</sup>や構造物のひび割れや亀裂の判読手法<sup>8)</sup>等、人間が侵入困難な場所でも柔軟に運用できる計測技術として研究開発されているためである。一方、維持管理フェーズを除き、土木分野のライフサイクルのほぼ全工程における UAV の活用事例が見られなかった。これは、UAV による公共測量の基準が定まっていなかったことが原因と考えられる。2016年3月には、UAV を用いた公共測量マニュアル<sup>2)</sup>が公開されたことから、今後は土木分野の各フェーズにおいても利用されると考えられる。

以上の調査より、これまでの各計測技術の利用場面が明らかとなった。また、今後、特に UAV による計測技術の利用場面を拡大させていくためには、運用モデルの整備が必要であると考えられる。このことから、今後の研究開発では、UAV によるレーザ測量技術の実現と普及のためには、技術開発と並行して運用モデルの改訂に関する提案を行う必要がある。

表-2 点群データの解析・処理技術に関する特許調査対象

No.	調査キーワード	件数	調査対象
(10)	推定   解析   作成   生成   処理	7,741,701	
(11)	表-1 (1) (2) & (10)	19,905	
(12)	点群 & (10)	10,176	
(13)	点群 & (10) & 表-1 (1) (2)	42	○
(14)	点群 & (10) & 表-1 (3) (4)	579	○
(15)	点群 & (10) & 表-1 (5) (6)	1,189	
(16)	点群 & (10) & 表-1 (7)	943	
(17)	点群 & (10) & 表-1 (5) (6) (7)	216	
(18)	点群 & (10) & スペクトルカメラ	12	
合計			621

表-3 利用目的別分類の論文件数

計画・調査・測量	設計・積算	工事・施工	維持管理	安心安全・防災
22	1	4	21	29

表-4 計測技術と利用分野の関係

利用分野	UAV	レーザ スキャナ	IMU	GPS	点群	写真 測量
計画・調査・測量	0	6	2	2	5	7
設計・積算	0	0	0	0	1	0
工事・施工	0	1	0	1	1	1
維持管理	4	5	2	2	6	2
安心安全・防災	7	10	0	3	3	5

表-5 点群データ解析ソフトウェア

技術分類	調査件数	ソフトウェア名
キネマティック解析	6	RTKLIB, GrafNav, TRACK, GIPSY-OASIS II, GPSTk, Bemese
自己位置推定	2	Autoware, AIBOX DroneBrain
点群作成	2	3DReshaper, VRMesh
写真測量	4	Pix4D, Photoscan, Context Capture, Image Master

#### (2) 「点群データの解析・処理技術」調査結果

##### a) 点群データの解析技術の調査結果

調査の結果得られた点群データ解析ソフトウェアを表-5 に示す。これらの各ソフトウェアについて、Web サイトのカatalog情報の調査を実施し、点群データ解析ソフトウェアが備える機能について整理した。また、キネマティック解析ソフトウェアの RTKLIB や写真測量ソフトウェア Photoscan について、実機による計測データを用いた検証を行った。その結果、RTKLIB を用いたキネマティック解析の有用性や Photoscan 等の写真測量の計測精度について明らかにした。

## b) 点群データの処理技術の調査結果

調査の結果得られた点群データ処理ソフトウェアを表-6に示す。これらの各ソフトウェアについて、Webサイトのカタログ情報の調査を実施した。また、一般的な処理技術を実現するソフトウェアの代表として、オープンソース・ソフトウェアのCloudCompareとMeshLabを対象に、計測データを用いた検証を行った。その結果、無料で提供されている汎用的な点群エディタでは、一度に読み込める点群数には限りがあり、土木分野で計測されるような広範囲の計測データを処理するためには、高速化や土木分野のデータ構造を考慮したLoD (Level of Detail) のアルゴリズムの開発が必要であることが分かった。一方、利用場面に特化した処理については、土木分野におけるUAVを用いた計測技術の適用範囲が広がったり、測定の規程や運用モデルが更新されることで発生した新サービスに対応したソフトウェアが開発されることが分かった。

## c) 点群データ処理・解析技術に関する特許調査結果

調査の結果得られた特に関連する特許を表-7に示す。UAVを用いた点群データの解析・処理に関する特許には、写真から影を除去する技術や3次元モデルを生成する技術等があった。また、地上設置型レーザスキャナを用いた点群データの解析・処理に関する特許には、計測データの位置合わせ、地形の分類、ノイズ除去、画像との対応付け、ブラウジング、形状検出、移動体検出、障害物検出、画像生成及び3次元モデル生成に関する技術等があった。しかし、2015年12月時点では、UAVによる写真測量成果と地上設置型レーザスキャナの計測結果を連動させる特許は発見できなかったが、レーザスキャナを搭載したUAVによる測定方法に関する特許は存在しないことが分かった。

以上の調査結果を通じ、点群データ解析・処理技術を実装するソフトウェアの要求機能について明らかにした。

## 4. おわりに

本調査では、「計測技術の利用場面」と「点群データの解析・処理技術」についての調査により明らかになった国内の計測技術の動向を整理した。本調査結果に基づき、次年度以降は、UAVに搭載可能なレーザスキャナを含む計測ユニットの研究開発とその解析・処理技術の研究開発及び運用モデルの提案資料の作成に取り組む。

**謝辞：**本研究は、関西大学カイザープロジェクトS「高度空間計測技術開発コンソーシアム」にて実施した。ここに記して感謝の意を表す。

表-6 点群データ処理ソフトウェア

技術分類	調査件数	ソフトウェア名
一般的な処理	15	CloudCompare, MeshLab, Terraphoto, TerraMatch, InfiPoints, PETs, LandForms, Bentley Pointools V8i, Miere, LaserMapView, LAVFinder, 赤色立体地図生成ソフトウェア, 点群-Editor, PADMS-Solid, PASCO 3D Viewer
利用場面に特化した処理	5	AutoCAD Civil3D, X-RossPoint2016, UC-win/ROAD 3D点群・出来形管理プラグイン, Trimble RealWorks, MMS-Tracer

表-7 特に関連する特許

キーワード	全検索件数		関連度高の件数	
	特開／他	特許	特開／他	特許
点群&解析・処理&UAV	30	12	2	0
点群&解析・処理&レーザスキャナ	409	170	49	26

## 参考文献

- 1) 国土交通省：平成28年度からi-Constructionで建設現場が変わります！新たに導入する15の基準及び積算基準について～平成28年4月からのICTの全面的な活用に向けて～、国土交通省 Press Re-lease, 2016.
- 2) 国土交通省：UAVを用いた公共測量マニュアル（案）、2016.
- 3) 国土交通省：空中写真測量（無人航空機）を用いた出来形管理要領（土工編）（案）、2016.
- 4) 国土交通省：空中写真測量（無人航空機）を用いた出来形管理の監督・検査要領（土工編）（案）、2016.
- 5) 工業所有権情報・研修館：特許情報プラットフォーム「J-PlatPat」、<URL: <https://www.j-platpat.inpit.go.jp/web/all/top/BTmTopPage>>（入手 2015.12.1.）
- 6) 四家千佳史：コマツのスマートコンストラクション～土木工事におけるドローンの活用～、JACIC 情報, Vol.30, No.2, pp.34-37, 2016.
- 7) 佐藤遼次, 越村俊一：UAVによる空撮と画像解析を用いた被災者捜索技術の開発, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.69, No.2, pp.1461-1465, 2013.
- 8) 大石哲, 白谷栄作, 桐博英, 高橋順二, 水上幸治, 村木弘和：UAVを使った低空画像解析による海岸堤防の劣化状態の検出, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.71, No.2, pp.1717-1722, 2015.