

建設技術研究開発費補助金 総合研究報告書【概要版】

(1) 課題名：河川土工の施工管理のためのレーザスキャナ搭載 UAV を用いた計測データの利活用技術に関する研究開発

(2) 研究期間：平成 28～29 年度

(3) 交付申請者名：田中 成典（関西大学・教授）

(4) 研究代表者名：田中 成典（関西大学・教授）

(5) 共同研究者名：窪田 諭（関西大学・准教授）  
今井 龍一（東京都市大学・准教授）  
中村 健二（大阪経済大学・准教授）  
山本 雄平（関西大学・特別任命助教）  
塚田 義典（岩手県立大学・講師）  
谷口 寿俊（青山学院大学・助手）  
織田 和夫（アジア航測株式会社・総合研究所所長）  
深田 雅之（株式会社ゼンリン・係長）  
山本 耕平（株式会社パスコ・主任技師）  
佐藤 隆一（株式会社フォーラムエイト）  
平 謙二（三菱電機エンジニアリング株式会社・副事業所長）  
藤原 利弘（株式会社関西総合情報研究所・代表取締役）

(6) 補助金交付総額：24,562,000 円

(7) 技術研究開発の目的

本研究では、市販の小型レーザスキャナ、GNSS（Global Navigation Satellite System）、IMU（Inertial Measurement Unit）やデジタルカメラ等のセンサ機器を組み合わせ、UAV（Unmanned Aerial Vehicle）に搭載可能な大きさや重さの計測ユニットのプロトタイプを製作する。そして、機器間の計測データの連携技術や同期処理、補正技術及び日照が乏しい時間帯やリアルタイムでの計測を支援する技術を研究開発する。本計測ユニットでは、レーザスキャナを用いた公共測量作業規程の基準である 5.0cm 以内の精度を目指し、300 万円程度で実現することを目指す。

この計測ユニットを用いた高所からの計測実験や、日照が乏しい早朝、夕方及び夜間での計測実験を通じ、開発機器の有用性の評価と空間データの利活用技術について検討する。検討結果は、計測ユニットと点群データ解析・処理ソフトウェアの機能及び性能要件としてとりまとめ、「i-Construction」の 15 の基準に反映することを目指す。

本研究の発展として、開発した計測ユニットを搭載した UAV を用いて河川土工（1 万平米）を半時間で計測し、かつ 6 時間程度で解析・検査する技術の開発を通じて、低コストの上、短時間で高精度な空間計測を実現し、建設分野への導入を促進することを目指す。

(8) 技術研究開発の内容と成果

平成 28 年度には、レーザスキャナ搭載 UAV による点群データの計測に関する技術開発及び計測ユニットを用いた俯瞰視点からのレーザ計測技術の研究開発を実施した。レーザスキャナ搭載 UAV による点群データの計測に関する技術開発においては、レーザスキャナ、デジタルカメラ、IMU と GNSS アンテナを組み合わせた計測ユニットの開発を想定し、研究開発を実施した。計測ユニットは、UAV の本体下部、本体上部と翼端の 3 カ所にアタッチメントとして搭載する

機器で構成される。本体下部には、地上の計測に用いるレーザスキャナとデジタルカメラ及びそれらの向きを計測する IMU とを組み合わせた計測ユニット本体を搭載する。本体上部に搭載する GNSS アンテナは、UAV の計測位置を取得すると同時に、GPS (Global Positioning System) 時刻を取得するために用いる。翼端には、GNSS アンテナを 3 基、正三角形もしくは二等辺三角形を構成するよう搭載し、姿勢（ヨー角）を高精度に取得する GPS ジャイロとして活用する。これらのセンサ機器を対象に、機器特性や計測精度を検証するための事前実験を行い、建設分野で利用できる精度を有していることを確認した。しかし、各センサ機器の計測間隔は一様ではないため、計測データを同期するための手法が必要である。そこで、レーザスキャナから取得した点群データ、デジタルカメラから取得した画像や動画、GNSS から取得した座標情報及び IMU と 3 基の GNSS アンテナから取得した角速度情報を GPS 時刻を基準に同期する手法を検討した。計測データの同期技術は、A) 時刻同期、B) 方位角の取得、C) アフィン変換と D) 座標系の変換の 4 つの処理で構成される。これらの処理を通じて、計測データの時刻と座標系を同期する手法を検討し、プロトタイプを用いた計測実験を通じてその有用性を検証した。本プロトタイプを用いた実験を通じて、計測ユニットにより取得した計測データを後処理にて時刻同期する技術を開発した。

計測ユニットを用いた俯瞰視点からのレーザ計測技術の研究開発においては、河川土工の施工分野におけるレーザスキャナと UAV の利用シーンの整理と分類を目的に、国内外の学術論文や Web サイト等の既存文献 185 件の調査及び国土交通省国土技術政策総合研究所、国土地理院や建設関連企業 3 社を対象としたヒアリングを実施した。調査の結果、本研究の開発対象であるレーザスキャナ搭載 UAV を用いた計測技術は、2015 年頃から研究成果が公表され始め、2016 年には活用事例が報告され始めていることが分かった。しかし、レーザスキャナ搭載 UAV を河川土工の施工管理に適用している事例は見あたらなかった。このことから、本採択課題の実験を通じて、事例の蓄積と運用モデルの考案を並行して進めていく必要があると考える。一方、UAV を用いた空中写真測量技術を河川の維持管理に適用した事例は 4 件報告されていた。しかし、当該計測技術を河川土工の施工管理に特化して適用した事例は見あたらなかった。UAV を用いた空中写真測量技術は、国土交通省東北地方整備局東北技術事務所が公表した「UAV による河川調査・管理への活用の手引き(案)」等の要領にて整理されている。今後の研究開発では、これらの要領の更新を追跡し、本採択課題の開発技術に反映していく必要があると考える。本研究開発項目では、さらに、i-Construction における基準を調査し、レーザスキャナ搭載 UAV を運用するために必要な基準の改訂を検討した。UAV を用いた公共測量マニュアル(案)では、空中写真測量を対象としているため、UAV によるレーザ計測を導入する場合に追加すべき項目がある。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)の現行の目次、レーザスキャナを用いた出来形管理要領(土工編)(案)の現行の目次、新たに作成する UAV によるレーザ計測を用いた出来形管理要領の目次案、改訂内容(案)を独自に示した。以上の調査及び検討を通じ、俯瞰視点からのレーザ計測技術の実用化に向けた今後の取り組みについて具体化した。

平成 29 年度には、28 年度の研究を継続し、レーザスキャナ搭載 UAV による点群データの計測に関する技術開発及び計測ユニットを用いた俯瞰視点からのレーザ計測技術の研究開発を発展し、計測ユニットのプロトタイプを用いた昼間と日照が乏しい時間帯の計測実験の実施、精度向上技術の研究開発と点群データ処理ソフトウェアの概略設計、及び、夜間計測技術の研究開発と点群データ解析ソフトウェアの概略設計を実施した。

レーザスキャナ搭載 UAV による点群データの計測に関する技術開発では、平成 28 年度に検討した計測データの同期技術の実装と実利用による検証を実施した。これと並行して、後処理ではなくリアルタイムな計測データの同期技術の検討と開発を進めた。これらの検討成果を計測ユニットのプロトタイプに実装し、計測実験を通じてその有用性を確認した。平成 29 年度の実験では、地上での計測だけでなく、UAV による俯瞰視点からのレーザ計測を実施した。俯瞰視点での実験では、地表面に高さが異なる様々なオブジェクトを配置し、その高さ情報をどの程度正確に計測できるかについて調査した。これらの調査を通じて得られた知見を基に、レーザスキャナ搭載 UAV による点群データ計測を実現するための点群データ解析ソフトウェアの概略設計を行い、概略設計書を作成した。

計測ユニットを用いた俯瞰視点からのレーザ計測技術の研究開発では、レーザスキャナ搭載

UAVによる点群データの計測に関する技術開発の実現場での活用可能性を評価し、計測ユニットのプロトタイプによる俯瞰視点からのレーザ計測技術を確立した。そのために、計測ユニットを用いて、日照が乏しい時間帯やリアルタイム計測を実施し、河川土工現場を対象に効果検証を行った。また、実験に際しては、デジタルカメラを用いた写真測量も同時に行い、得られる計測データの特性を明らかにした。これらの比較を通じて、夜間測量におけるレーザ計測技術の優位性を実証した。そして、昼間の計測結果と比較しながら、レーザスキャナによる夜間計測技術の研究開発を実施した。

開発した計測ユニットを搭載した UAV による河川土工（1 万平米）を対象とした計測実験を実施し、研究開発目標の達成度を評価した。達成目標として、半時間で対象範囲を計測できるように航路を設定した場合の計測精度が 5 cm 以内であること、計測されたデータから点群データを生成して解析・検査までを 6 時間以内に完了することを示した。以上の研究開発を通じて得られた俯瞰視点からのレーザ測量や夜間測量を実現するための知見を点群データ処理ソフトウェアの概略設計として取りまとめた。

(9) 論文発表等に関する件数

原著論文 (査読あり)	原著論文 (査読なし)	原著論文以外 (新聞・雑誌等)	その他 (パネル・ポスター等)	合計
3 件	3 件	1 件	8 件	15 件

(10) 知的財産権に関する件数

特許権 (取得)	特許権 (出願)	その他 (実用新案・商標等)	合計
0 件	1 件	0 件	1 件

(11) 成果の実用化の見通し

平成 31 年度の実用化を目指しており、平成 30 年度には同様の試作機を 5 台製作し、パイロットシステムとして共同開発者に配付して、様々な現場での活用を進める。このシステムを用いた計測実験を 5 箇所の建設現場にて実施する。これらの試行を通じて得られた計測データを基に精度検証し、トライアルアンドエラーを繰り返して実用化のためのマイナーチェンジを実施する。以上の取り組みを通じて、計測ユニットを実用化し平成 31 年度末にはプロジェクト外の第三者機関へと有償にて提供する予定である。

(12) その他