

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 3 日現在

機関番号：10106

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24510222

研究課題名(和文)GPS軌道誘導空撮機を用いた自動航空測量によるハザードマップ作成と災害状況の把握

研究課題名(英文)Preparation of hazard map and grasp of disaster situation with aerial land measurement by means of GPS guided aerial photography system

研究代表者

羽二生 博之(Haniu, Hiroyuki)

北見工業大学・工学部・教授

研究者番号：70172955

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：空撮機の翼長を3.6mから3mに、重量を約8Kgから6Kgに軽量化した。この過程で搭載GPSとカメラは超軽量の基板モジュールタイプに変更した。機体誘導時のカメラ視野の移動を防ぐためにx-y-z三軸それぞれに加速度・ジャイロ・電子コンパスの超軽量9軸センサーモジュールを用いてカメラを常に真下に向ける制御を実現した。湧別川の洪水浸食箇所の空撮を行い、1.5Km×0.8Kmの広範囲の立体画像を生成し、ハザードマップ作成や航空測量の目処が立った。操縦者負担を軽減するために、比例制御と差分制御をハイブリッドした飛行高度自動制御手法を確立した。現在地元ドローン空撮ベンチャー企業を支援している。

研究成果の概要(英文)：Wing span of the aerial photography plane system was shortened from 3.6m to 3m and its weight was lighten from 8Kg to 6Kg. In that process, on board GPS unit and camera were replaced with ultra light weight board module type units. In order to prevent the camera view angle from shifting to side ways while guiding the plane, ultra light weight 9 axis sensor module which has acceleration detector, gyro and electronic compass in all x-y-z axis was employed. Flood erosion of Yubetsu river was photographed from sky and 3D view of an area as wide as 1.5km x 0.8km was generated, and now we are confident that generation of hazard map aerial land measurement are fully possible. In order to ease the pilot of the plane, flight altitude automatic maintaining system was developed using hybrid of proportional and differential methods. At the present time, we are supporting a local venture company of drone aerial photography.

研究分野：流体工学

キーワード：GPS誘導空撮機 航空測量 ハザードマップ 小型化 軽量化 基板モジュールセンサー 飛行高度自動制御 空撮ベンチャー支援

1. 研究開始当初の背景

申請者らは大型模型飛行機を用いた GPS 誘導空撮機を独自開発して農地の近赤外線空撮による作柄調査を行って来た。公共事業の削減に苦しむ地元の土木建設業界に空撮による農業の新規事業への参画を呼びかけたところ、まずは河川洪水のハザードマップや災害現場の土砂流出体積の把握に活用したいとの要望があった。また近年航空測量用の画像処理ソフトが急速に安価で高性能になってきている点に土木測量業界が注目し始めていることもあり、地域の零細な土木測量会社が導入して運用が可能なように操作が手軽で安価なシステムの開発に着手した。

2. 研究の目的

近年地球温暖化によるものと思われる大雨による浸水や土砂崩れ、河川敷の浸食による氾濫が頻発しており、洪水のハザードマップや土砂崩れ、河川氾濫現場の状況把握が重要視されている。本研究は、安価で運用が比較的簡単なエンジン付きグライダータイプの大型模型飛行機に GPS とコンピュータおよびカメラを搭載し、実機並みの 250m 程度の高度から河川流域や土砂崩れ災害現場のステレオまたはオーバーラップ撮影から得られた画像を航空測量ソフトによって処理して地形の立体情報を得ることで、地域の測量会社が安価にハザードマップを作製したり、土砂崩れ現場の地形変化をいち早く把握して早急な復旧に役立てることができシステムを開発するものである。

3. 研究の方法

現行の機体にはハンディ S-DGPS 受信機と軽量パームトップパソコンおよび無線モデムが搭載されているが、それぞれ市販の完成品を用いているため、機体搭載重量がかさみ、離着陸等で難がある。最初に機体の小型軽量化と搭載機器の小型軽量化を図る。また、無線モデムの通信距離が 600m 程度あり、機体の向きによっては 300m 程度の距離でも通信が途絶えることがあるため、その改善を図る。機体に搭載された無線モデムを介して機体に搭載された GPS で受信したリアルタイム位置情報を地上のコンピュータに送り、電子地図上に現在位置と飛行高度および飛行速度を表示しながら補助者が無線操縦者に軌道誘導の指示を出している。飛行軌道を修正すると機体が傾いてカメラの視野が左右に大きく動くために機体の真下をうまく撮影することが難しい。そのため、加速度センサーや電子コンパス、ジャイロを用いてカメラアングルを真下に向け続けるシステムを開発する。一方、農地空撮では市販のデジカメのシャッターを遠隔操作で押すため、シャッターの時間間隔が 4 秒以上となり航空測量に必要なオーバーラップ撮影ができない他、カメラユニットが重いた

めにカメラを機体に取り付けたときの機体の重心変化が大きく、エレベータトリム調整が毎回必要となる。そのため、基板モジュール化されたカメラを用いた軽量なカメラユニットの開発を行う。また、空撮での目標地点上空への機体誘導は無線手動操縦にて行っているが、軌道修正と飛行高度の維持操作を同時に行うためにはかなりの操縦技術が要求される。そのため、GPS 位置情報を基に、予め設定された飛行高度を自動的に維持する制御システムを開発し、操縦者の負担軽減を図る。

3. 研究成果

(1) 機体の小型軽量化

図 3-1 にこれまでに開発した農地空撮用の機体とその主要諸元を、図 3-2 に小型軽量化した機体とその諸元を示す。機体の内部構造も含め改良した結果、後述の搭載機器の軽量化を含めて全備重量を約 2kg 軽減し、翼長を約 50cm、全長を約 25cm 小型化でき、空撮現場の取り回しを大幅に改善できた。発進については、図 3-3 に示すカタパルトを開発し、釧路湿原など滑走路を確保できない場所での発進を可能にした。



全長	1800mm	全備重量	8.4Kg
全高	500mm	翼弦長	390mm
翼長	3430mm	燃料容量	500cc
最大胴体幅	132mm	エンジン出力	2.8ps

図 3-1 農地空撮用機体



全長	1540mm	全備重量	6.6kg
全高	470mm	翼弦長	390mm
翼長	3000mm	燃料容量	500cc
最大胴体幅	120mm	エンジン出力	2.8ps

図 3-2 小型軽量化した機体

(2) 搭載機器の改良と小型軽量化

農地空撮に用いていた機体に搭載した無線モデムは到達距離が 600m 程度で、機体の傾きやアンテナの向きによっては、300m 程度しか機体に搭載した GPS からのリアルタイム位置情報が届かないことがあり、地上モ

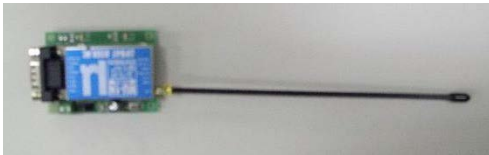


図 3-3 発進用カタパルト (釧路湿原にて)

ニタリングシステムの電子地図上で機体の現在位置がフィリーズすることがしばしばあった。そこで本研究では図 3-4 に示すように、それまでの 1.2GHz タイプのモデム (上側) から 0.42GHz タイプの高感度モデム (下側) に変更することで、良好なリアルタイム GPS データの通信が可能となった。



1.2GHz 従来型無線モデム



0.42GHz 高感度無線モデム

図 3-4

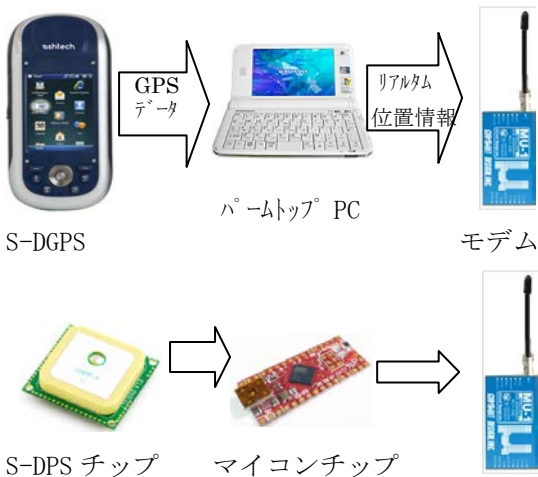


図 3-5 搭載機器のチップ軽量化

搭載機器は当初図 3-5 の上側に示すように市販のハンディ S-DGPS ユニット、パームトップ PC、無線モデムで構成され、それぞれをケーブルで接続したため、1.5Kg 程度の重さがあった。その後図 3-5 の下側に示すようにほぼ同じ性能のチップ GPS とチップマイコンに換えて、各機器を基板上にて直接接続することで、約 1.2Kg の軽量化とスリム化が可能となった。

### (3) 飛行高度自動制御

本研究では図 3-6 に示す赤外線センサータイプの水平安定装置を用いて飛行高度自動制御を行った。通常はこのセンサーを無線操縦システム組み込むことで空と地上の赤外線強度の違いを利用して機体を常に水平にすることができる。また、地上からのスイッチ操作でこの自動制御をいつでも解除できる高い信頼性がある。本研究では図 3-7 に示すように、この安定装置を意図的に傾けることによって相対的に機体のピッチ角を変化させて上昇と下降をコンピュータ制御にて行った。



図 3-6 赤外線タイプ水平安定装置

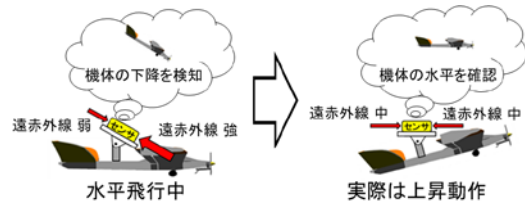


図 3-7 センサー傾角によるピッチ角制御

飛行高度の自動制御はまず飛行目標高度と現在高度の差に比例した制御量を与える比例制御を行った。機体が無操縦でほぼ水平に飛行するようにトリム角を調整した後、制御比例定数を  $K_p$  とし、この値を変えながら

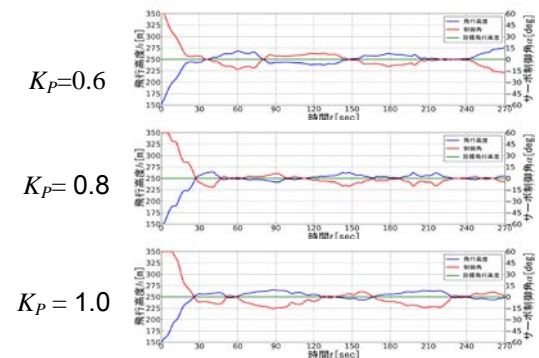


図 3-8 比例制御の結果

飛行実験を行った。図3-8に比例制御の飛行高度記録を示す。図から、 $K_p$ の値が0.8のときに、最も良好に目標高度付近を中心に水平飛行を行うことができた。この実験で飛行中に機体の高度が急に変化する事がしばしば生じた。これは上昇気流によるものと考えられることから、飛行高度の単位時間当たりの変化量（時間微分値）に比例した補正制御を行う微分制御を追加した。微分制御における制御比例定数を $K_D$ とし、この値を変化させながら飛行実験を行ったときの飛行高度記録を図3-9に示す。図から $K_D=0.5$ のときに、最も良好に目標高度付近を中心に水平飛行ができ、変動も比例制御のときよりも小さく滑らかになっている。よって、最適制御係数は $K_p=0.8$ 、 $K_D=0.5$ であった。

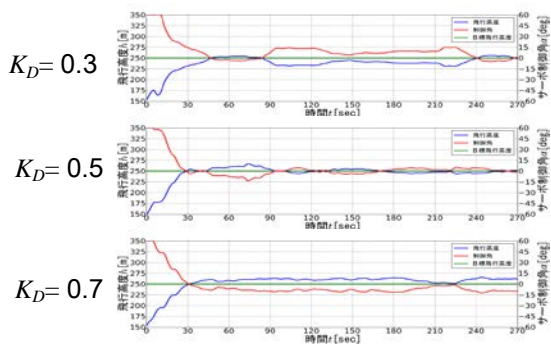


図3-9 微分制御の結果

(4) カメラアングル自動制御

空撮機にカメラを真下に向け固定して搭載した場合、機体の軌道誘導のための操縦によって機体が傾き、カメラアングルが真下から左右に大きく揺れる。これを解消するために、水平方向や垂直（重力）方向を検出するセンサーを搭載して常にカメラを真下に向ける改良を続けてきた。当初は可視光センサーによって空と地表からの光量の違いから水平を検出する制御を行ったが、太陽高度や天候に影響を受けたり、感度を良くすると振動し、感度を下げると水平検出精度が落ちるといった問題があった。次に、加速度センサーを用いて鉛直を検出する制御を行ったが、機体の左右への軌道制御において水平方向の加速度が生じて正しい鉛直方向を示さない欠点があった。最後に図3-10の左側に示す9軸センサーを用いて実用上問題無い程度にカメラアングルを真下に向けられるようになった。センサーからのデータは図中右側のワンチップマイコンにより処理し、カメラマウントの2個のサーボを制御し



図3-10 9軸センサーと制御用マイコン

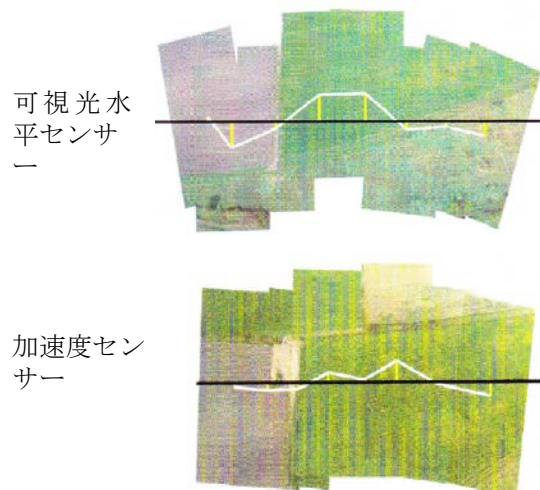
た。9軸センサーはx-y-z3軸それぞれに加速度、電子コンパス、ジャイロが組み込まれており、9軸情報を総合的に解析してリアルタイム処理を行った。図3-11の左側には従来のデジカメを、右側には今回使用したカメラモジュールを示した。図3-12の左側には従来のカメラを機体に搭載する制御ユニットを、右側には本研究で開発したカメラ制御ユニットを示した。大幅な小型化が実現していることが分かる。ユニットの重量は440gから165gへと軽量化した。図3-13には機体の翼前縁の保護枠内に収まったカメラユニットを示した。図3-14に上から可視光水平センサー、加速度センサー、9軸センサーの各センサーを用いたときのカメラアングルの動きの例を示した。各図の白線は視野中央の動きを、黒い線は飛行経路を示している。可視光センサーではアングルの移動の標準偏差が約200Pixel、加速度センサーでは約120Pixel、9軸センサーでは約95Pixelとなった。



図3-11 カメラ比較 図3-12 ユニット比較



図3-13 機体へのユニット搭載



9 軸センサー

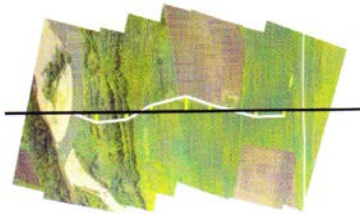


図3-14 カメラアングル制御の比較

#### (5) 立体空撮画像

図3-15に洪水によって浸食された湧別川河川敷の護岸工事予定地を示した。

図3-16は本研究で開発したシステムによって高度約250mから1秒間隔のオーバーラップ空撮を行い、張り合わせた広域画像である。横約1.5Km、幅約0.8Kmの領域が実機による空撮と遜色が無いように鮮明に写っている。図3-17は測量会社が所有する航空測量ソフトを用いて図3-16の写真进行处理して生成した河川敷の3次元画像である。各画素点に3次元座標値を持ち、ハザードマップの作製や浸食による流出土砂体積や護岸工事に必要な土砂の体積の算出が十分可能なことを確認できた。

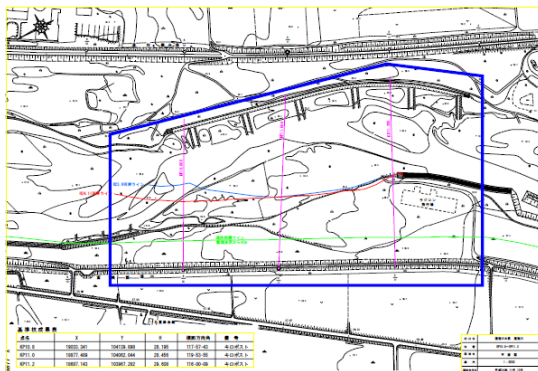


図3-15 湧別川河川敷の洪水浸食箇所



図3-16 湧別川河川敷の空撮画像

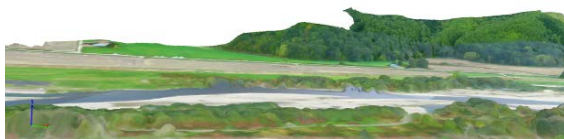


図3-17 湧別川河川敷の立体画像

#### (6) 空撮ベンチャー企業支援

この成果を受け、平成26年秋にマルチコプター（通称ドローン）を用いた空撮ベンチャー企業の Shoot-Tech（松田豪代表）が地元北見で設立され、農地の暗渠工事設計やゴルフ場等の地形調査事業が行われている。平成27年度からは本研究代表者と Shoot-Tech および測量会社である OPIS（濱田克哉代表）との共同研究による農地近赤外線空撮作柄診断プロジェクトが開始し、美幌町の若手農家集団に対して近赤外線空撮画像と収量の関係を調査している。特に特産の玉ねぎはサイズSとMでは値段が10倍ほど違うため、作柄不良箇所の早期把握と作柄改善に若手農家らが強い関心を示している。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① Hiroyuki HANIU, Hirotsumu MINAMI and Kazunori TAKAI, Aerial Infrared Photography System for Harvest Improvement, Proceedings of IWMST 2012, not reviewed, 2012, 137-141

[学会発表] (計 1 件)

- ① 羽二生博之、GPS誘導農地赤外線空撮システムの開発、日本機械学会北海道支部第51回講演会、2012

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.vbl.office.kitami-it.ac.jp/>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

羽二生 博之 (HANIU Hiroyuki)  
北見工業大学・工学部・教授  
研究者番号：70172955

##### (2) 研究分担者

鈴木 聡一郎 (SUZUKI Soichiro)  
北見工業大学・工学部・教授  
研究者番号：30250541

高井 和紀 (TAKAI Kazunori)  
北見工業大学・工学部・准教授  
研究者番号：50271755