

特集 IT と建設の機械化

IT を活用した無人調査機械の
開発

千葉 誠・熊井 敬明・吉住 年行・鈴木 昭彦

災害時には、現場の状況をいかに迅速に把握できるかがその後の対策に大きく影響する。平成12年3月に発生した有珠山噴火災害の際には、広域にわたり立入りが規制され、二次災害が想定される区域における調査活動が困難であり、災害対策に必要な調査が制約された。このような経緯を踏まえ国土交通省北海道開発局では、安全に各種調査を行的確な情報を収集するために、ITを活用した無人調査機械を開発導入した。

キーワード：災害調査，無人調査機械，無人ヘリコプター，遠隔操作，自律航行，IT

1. はじめに

危険地帯や、災害現場など立入りが規制され人が近づくことのできない危険な場所でも汎用の電波を使用し遠隔操縦や自律制御により安全、迅速に陸上並びに空から当該区域の各種調査活動を行い、より精度の高い情報を収集できる無人調査機械を導入したので、これらの概要、機能、システム等について報告する。

2. 無人災害調査車の概要

無人災害調査車（写真—1 参照）は、移動操作車、調査車、無線中継車の3台で構成され移動操作車内において他2台を操縦するもので、移動操作車から見通し距離1km（電波、地形等作動条件によって異なる）以内での調査が可能である。また、無線中継車を介せば見通しのきかない場所でも調査が可能となる。調査車と無線中継車は異なる調査機能を持っており必要に応じて入替えることにより多様な情報収集をすることができる。

調査車・無線中継車は、3tクラスの非搭乗式の建設機械をベースとし各種調査のための機器装置

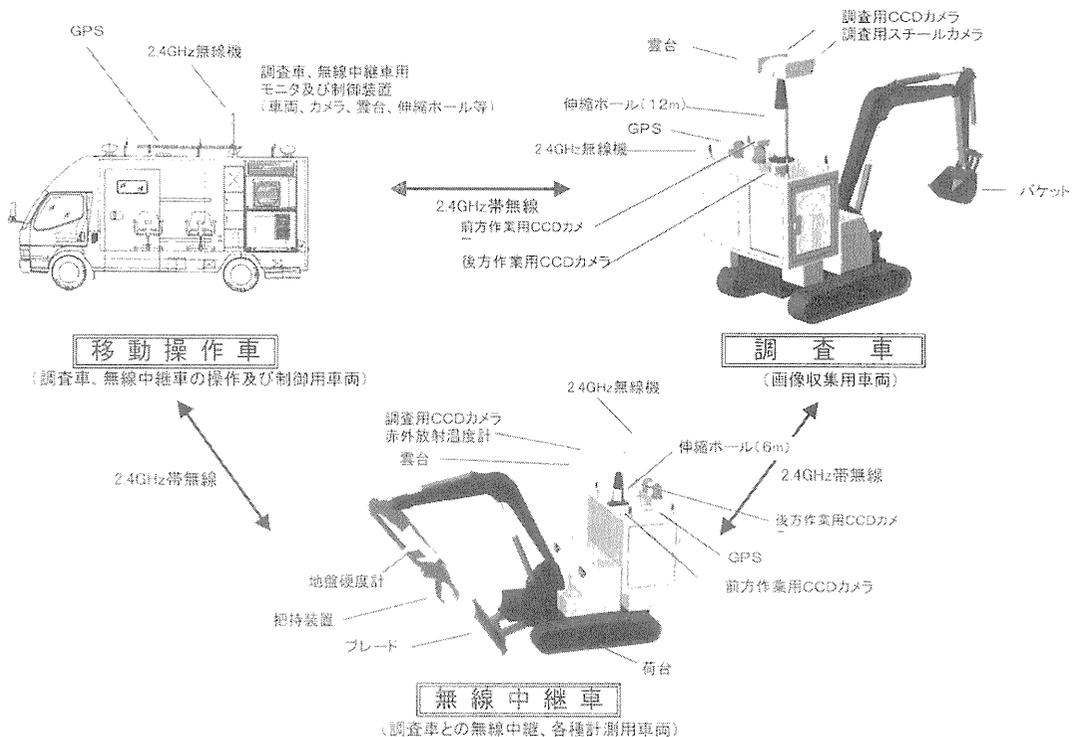


写真—1 無人災害調査車

を架装している。

(1) システム構成と機能

通信システム用機器は、遠隔操縦用に1台、GPS基準局補正情報および調査車・無線中継車からの位置情報転送用に1台使用している。このデータ用無線機はスリーブアンテナとコリニア(Colinear)アンテナで送受信されている。調査時に用いる通信機器は、画像伝送用、データ伝送用の2系統を2.4GHz帯のスペクトラム拡散変調方式無線(SS無線)を用いている。



図一 無人災害調査車システム構成

画像用は直接送信並びに中継用として各車両に2台搭載している。データ伝送用は狭域帯のSS無線を3台、カメラ操作及び計測データ伝送用に1台搭載している。また、メンテナンス時や映像伝送を必要としない目視運転の操作用として400MHz帯の特定小電力無線機も使用している。

位置情報は、リアルタイムキネマティックGPS方式(RTK-GPS)を使用している。これらの通信機器、方式を使い遠隔での対応を図っている。システム構成を図一に示す。

(2) 移動操作車

移動操作車は、2tトラックをベースに操作室を架装、車載のディーゼル発電機(3.1kVA)より電源を供給、各システムを稼働させている。操作室内(写真一2)参照には、調査車、無線中継車から送られてくる各情報(映像、位置、運航軌跡データ、地盤硬度、温度)を映し出すモニタ類が設けられ、オペレータはこの情報を見ながら各操作を行っており、これらのデータを車内で蓄積している。

操作席は調査車、無線中継車用に各一席設けら



写真一2 移動操作車室内

れ前面には、20インチモニタが設置され、調査車搭載カメラ4台、無線中継車搭載カメラ3台の画像がリアルタイムで映し出される。必要に応じ分割画像と専用画像を切替えて操作でき、映像は車載ビデオ部に録画される。また位置情報はRTK-GPSを使用し基地局との補正により位置関係をモニタしている。

(3) 調査車

調査車は調査用のデジタルスチールカメラと高

感度 CCD カメラ（最低被写体照度 0.02 Lx，10 倍ズーム）が 12 m の昇降装置（伸縮ポール）先端の雲台に装備され、車両前後には、操作用 CCD カメラが 2 台、この 4 つの映像情報を移動操作車内に配信している。各カメラ操作は移動操作車からの指令により作動する。また 0.08 m³ のバケットを装備し、土砂サンプルをブレード上部に設けられたサンプル収集箱に入れ、持ち帰ることが可能である。

通信機器用電源には発動発電機（2.4 kVA）を搭載し、各制御ボックスを車両後部に納め熱対策として油圧ホース類にワイヤレスブレード被覆を施している。

（4）無線中継車

無線中継車の車両は調査車と同じであるが装備に違いがある。赤外放射温度計（-50℃～+500℃）と調査用 CCD カメラとが雲台に装備され昇降装置は 6 m である。アームには把持装置（写真—3 参照）が装備され調査サンプルを掴むことが可能で調査車同様ブレードには収集箱が設けられている。

また、先端部に地盤硬度計が装備され、これにより調査地盤の硬度計測を行いデータは、移動操作車に送られる。



写真—3 把持装置

3. 小形無人ヘリコプターの概要

小形無人ヘリコプター（写真—4 参照）は、移動

操作車、自律航行型無人ヘリコプターで構成され、機体には電動雲台に懸架されたデジタルビデオカメラが搭載されている。この映像を画像用無線機で基地局に送り、動画表示モニタに表示する。カメラの操作はチルト、パン、ズーム、シャッター等が可能である。なお、必要に応じて、赤外線カメラに載せ替えが可能である。

機体 2 機と調査用映像装置一式及び基地局は、移動操作車に全て搭載され調査現場へ出動する。1 回の最大飛行時間は 80 分で、最大高度 150 m、距離 1.5 km まで飛行できる。また、何らかの障害で指令制御並びに基地局との通信が途切れた場合、機体側の GPS データに基づき基地局に自動帰還する。



写真—4 小形無人ヘリコプター

（1）システム構成

自律制御システムの構成を図—2 に示す。機体側には、姿勢センサ、GPS、データ用無線機を搭載している。姿勢センサは、地磁気方位センサと 3 つの角速度ジャイロ、3 つの加速度計により構成され、機体の姿勢角と方位角を検出する。GPS により、位置と速度を検出し、必要な精度を確保するために、RTK-GPS を採用している。また、データ用無線機は基地局から GPS の補正データや操縦指令を受取り、基地局へ機体の位置や姿勢角などの情報を送信している。

移動操作車内の基地局には、機体側の GPS に補正データを送るための基地局用 GPS およびパソコン、データ用無線機を設置している。パソコンは機体の状態をモニタリングするとともに、機体側へ操縦指令を送信するために用いられる。また、システムの安全性を確保するために、通常の

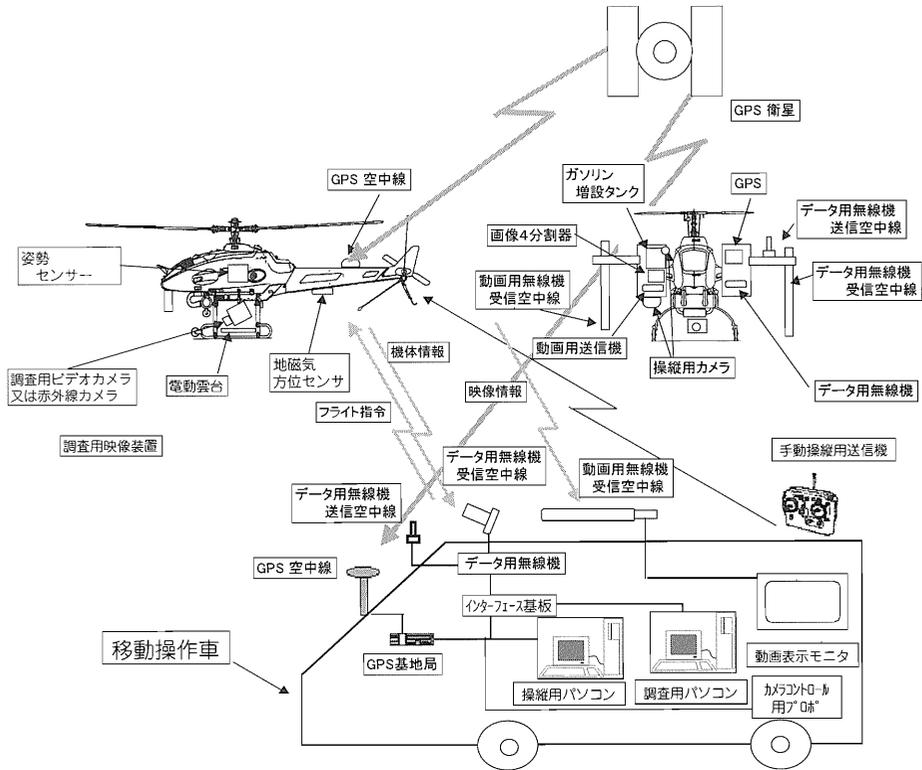


図-2 小形無人ヘリコプターシステム構成図

送信機を用いて操縦者がバックアップできるようになっている。

(2) 制 御

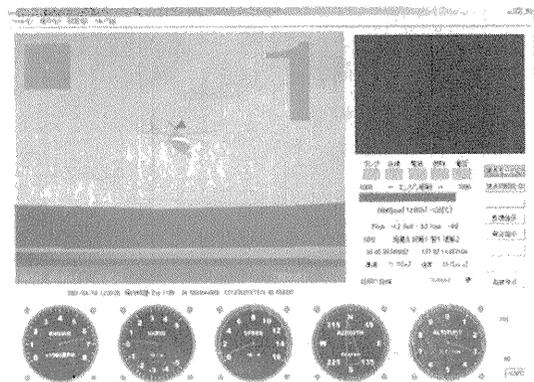
オペレータは、メイン、サブ、バックアップ、アンテナの4名で構成され、フライト時対応している。移動操作車を基地局と設定するが、GPSの高度誤差を考慮し離発着は、バックアップオペレータにより手動で操作する。

機体がある程度の高度に達し安定したら、移動操作車内のメインオペレータに操作をチェンジする。メインオペレータは移動操作車内（写真—5参照）の操作パソコン画面に指示を入力しサブオペレータは、搭載カメラの画角調整を担当している。

アンテナオペレータは、移動操作車外に置かれた追尾用アンテナを機体に向けデータ通信が途切れぬよう操作を行う。



写真—5 移動操作車室内



写真—6 飛行状況確認画面

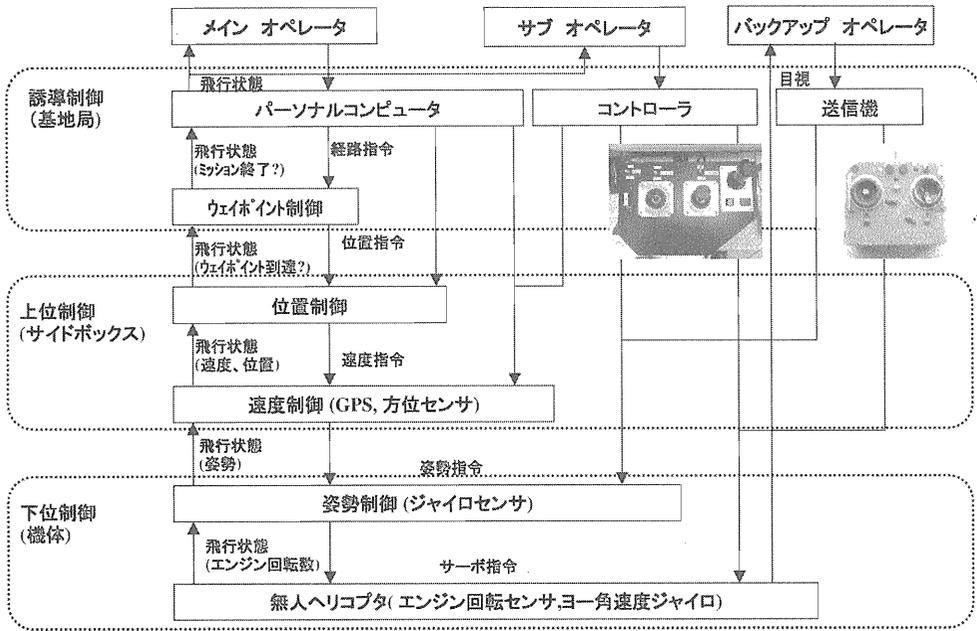


図-3 制御系統図

基地局には、機体から、映像、飛行データ（位置、高度等）、機体状況（エンジン回転数、水温、姿勢等）が送信され、オペレータはその情報をもとに指令を機体に与える（写真-6 参照）。

制御系統は、図-3 に示すように、誘導制御、上位制御、下位制御の3つの部分に分かれている。

誘導制御は基地局で行い、オペレーターとのインターフェース部分となる。上位制御は、機体のサイドボックス内（写真-7 参照）に搭載されているコントローラで行い、下位制御は機体本体に内蔵されているコントローラで行われている。オペレータからの飛行指令と実際の飛行状態差を演算して自律航行する。

マウス操作により簡単に飛行経路の設定を行う

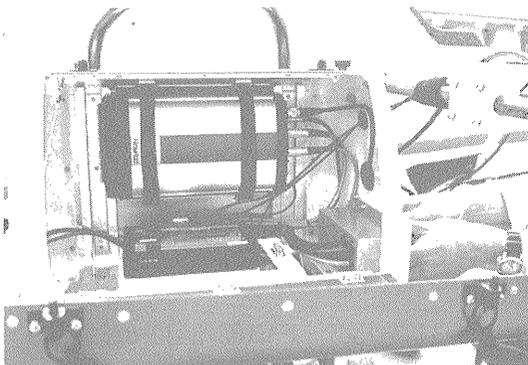


写真-7 機体サイドボックス内部

が、より高精度での設定は、キーボードから数値入力する。これらにより与えられた飛行経路に基づき基地局から機体側に目標速度が操縦指令としてリアルタイムに送信される。また、データはフライト前に機体側へ、一括して転送することもできる。机上において計画された飛行プランを事前に入力することによりパソコン内のメモリには、位置や高度が時系列に示されたフライト経路プログラムが格納される。

オペレータが、フライトを開始するために開始ボタンを押すとフライト経路に従い速度指示が基地局から機体側にデータ送信される。機体側はその速度指示をもとにして運動特性を考慮した滑らかな速度の変化となる目標速度量を計算する。更にその目標を達成するための目標姿勢角と目標位置を計算する。これらは、各センサより検出される。

位置情報は、RTK-GPS、方角は機体下部に搭載した地磁気方位センサにより検出されている。

GPS データより得られる目標位置・速度、姿勢センサから検出される姿勢角、これらの信号から目標値と計測値の差を取りフィードバック制御となるが、応答を素早く行うためには、フィードフォワード制御が必要となり、これら複数の信号から制御演算を行い、サーボモータ駆動の制御量

を指示, これにより速度, 位置, ピッチ角が目標指令に追従して安定的に機体が自律飛行する。

4. おわりに

危険区域内でも安全に現場状況に接近して調査を実行できる機械として, 本機は, 国土交通省北海道開発局事業振興部防災・技術センターが管理・運用し現在, これらの機械を有効かつ効率的に活用するための調査技術の蓄積を図りつつ, 本格運用体制を整備している。

J C M A



【筆者紹介】
千葉 誠 (ちば まこと)
国土交通省
北海道開発局事業振興部
防災・技術センター
防災課
防災管理係長



熊井 敬明 (くまい のりあき)
三菱重工株式会社
北海道支社
支社長代理



吉住 年行 (よしずみ としゆき)
シーエム・カスタムプロダクト株式会社
相模事業部
次長



鈴木 昭彦 (すずき あきひこ)
ヤマハ発動機株式会社
スカイ事業部
開発グループ
技師

絵で見る安全マニュアル 〈建築工事編〉

本書は実際に発生した事故例を専門のマンガ家により、とても解いやすく表現している、新入社員の安全教育テキストとしてご活用下さい。

要因と正しい作業例

- ・物動式クレーン
- ・電動工具
- ・油圧ショベル
- ・基礎工事用機械
- ・高所作業車
- ・貨物自動車

A5版 70頁 定価650円(消費税込) 送料270円

社団法人 日本建設機械化協会

東京都港区芝公園3-5-8(機械振興会館) TEL03-3433-1501 FAX03-3432-0289