

第5章 無人航空機(UAV)の活用

林野火災の被害範囲や消防活動を把握するための方法として上空からの映像情報を活用することが考えられる。夜間やヘリコプターでは危険な場所を考慮すると画像の収集方法として無人航空機(UAV: Unmanned Aerial Vehicles)の利用も有力である。無人航空機には、カイト型、ヘリコプター型など様々な形態のものや GPS (Global Positioning System: 全地球測位システム) を活用して自動航行可能なものなどが研究・開発されている。ここでは、既に実用段階に入っているカイト型の無人航空機(カイトプレーン)について、林野火災時の情報収集手段としての有効性と活用方策について検討する。

5.1 UAVの概要

(1) 諸元

カイトプレーンは、これまで、さまざまな災害時の情報収集に活用されてきた(雲仙普賢岳噴火災害、三宅島噴火災害など)。風と飛行機の特長を有しており、操作が比較的容易で、安全性、信頼性が高いことが知られている。初期のモデルは、マニュアル操作で飛行を行っていたが、近年ではジャイロによる姿勢制御やGPSによる自動航行が行われるようになり、操作性や安全性が向上している。カイトプレーンの諸元は表 5.1.1 のとおりである。また、カイトプレーンの外観を図 5.1.1 に示す。

表 5.1.1 カイトプレーンの諸元

●機体	
全長	2, 305 mm
全幅	2, 780 mm
全高	1, 195 mm
総重量	22.5 kg (内ペイロード約5～6 kg)
●飛行性能	
飛行時間	2～3 時間
速度	最低 28 km/h 最高 60 km/h
高度	最高 3,000 m まで
飛び立つまでの作業と所要時間	機体の組み立てとプログラムに 20～30 分
●離着陸の条件	離着陸はマニュアル操作、滑走距離 50 m
●飛行上の制約	風速 14 m/s 霧雨程度までなら飛行可



図 5.1.1 カイトプレーンの外観

(2)法的規制

ア.航空法

ラジコン飛行機の範疇に入るものであることから、機体について特段の規制はないが、飛行場の管制区域等では飛行高度の制限を受けることとなるので、十分注意する必要がある。

イ.電波法

機体の操縦のための産業用 73MHz 帯及びGPS 情報や映像のMP E G 圧縮ファイルの伝送に用いる 2.4GHz 小電力データ通信システム(SS : Spread Spectrum 及び無線 LAN : Local Area Network) については、免許は不要である。ただし、画像伝送に高出力な無線装置(例えば、周波数 1.2GHz で出力 1 W のアマチュア無線バンドの電波など)を用いる場合は、無線局(実験局も含む)の開設の手続き及び資格者(第 3 級陸上特殊無線技師以上)が必要となる。

(3)安全対策

22.5kg もの機体を飛ばすことから、複数の安全対策が講じられている。万が一操縦のための電波が届かなくなったときにおいても、GPS によりあらかじめ設定した原点上空に復帰するように設定されている。また、エンジンが停止した場合においても、バッテリーが維持されていれば、機体の制御は可能であり、安全な場所に滑空して軟着陸させることが可能である。このため、バッテリーは二重化されている。

(4)機能

カイトプレーンのペイロードボックスには、ハイビジョンカメラ(可視光式)または暗視カメラ(赤外線式)が搭載可能で、昼夜を問わず被災状況等を記録することができることも

に、映像(M P E G : Moving Picture Experts Group 4 圧縮)を伝送装置(2.4GHz 小電力データ通信システム)によりリアルタイムに地上に送信することができる(図 5.1.2)。

[ペイロードボックス]



[カメラ搭載状態]



[空撮映像(昼間)]



[空撮映像(夜間)]



図 5.1.2 カイトプレーンの機能

5..2 U A V の活用に関する実証実験

5.2.1 実験概要

(1)実験の目的

本検討における検討項目の一つである林野火災発生時におけるU A V の活用について、U A V のひとつであるカイトプレーンによる実証実験を行い、有効性・活用性、課題及びその対策等について検討を行うことを目的とする。

(2)実験体制

- 実験主体：消防庁特殊災害室、消防研究センター、(財)消防科学総合センター
- 実験補助：(株)アトリム
- 実験協力：山梨県総務部消防防災課、甲府地区広域行政事務組合消防本部

(3)使用するUAV等

消防研究センターが保有する大型カイトプレーン(ハイビジョンカメラ及び暗視カメラが搭載可能)を使用する。

また、必要に応じて他のタイプのカイトプレーン(カーボンタイプ若しくは小型電動タイプ)及び撮影機材を使用する。UAVの手動操縦用の無線装置は、産業ラジコン用の73MHz帯の無線機を使用している。

(4)実験項目

実証実験の主な項目は以下のとおりとする。

ア.可視カメラによる情報収集

カイトプレーンで撮影した可視映像により林野火災の消火活動に有用な情報が把握できるか評価する。

イ.暗視カメラによる情報収集

暗視カメラにより、残火・再燃箇所を想定して設置した熱源を把握できるか評価する。

ウ.GPSによる情報収集

カイトプレーンから送られてくるGPSデータをもとに、延焼範囲が把握できるか評価する。

(5).実験の場所・日程

ア.実験場所

実証実験を行う場所は、以下の条件をもとに図5.1.3に示す地域に選定した。

- 関東近県で過去に大規模な林野火災が発生した山林地帯、あるいはその近隣
- カイトプレーンの搬送、組み立て、飛行及び撮影が可能なところ
- 離陸場所としてトラック競技場程度の広さがあり、車両の進入が可能なところ
- 飛行ルート周辺に民家、高圧線等がないところ
- 地元都道府県及び消防本部の協力が得られるところ

イ.実験日

平成19年2月5日(月) 天気：晴れ 風：ほぼ無風

[実験地] 敷島総合公園（山梨県甲斐市牛句 2814 番地）

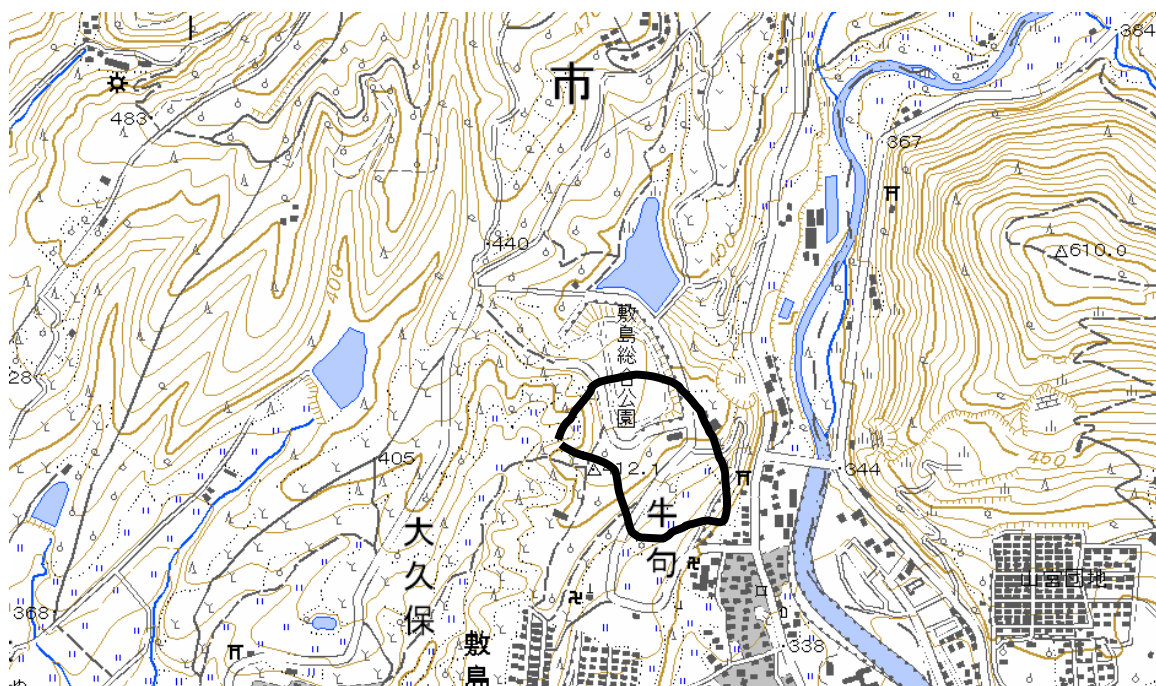


図 5.1.3 実験場所の地図

(6)実験の方法・手順

ア.機種・撮影機材の選定

個々の実験項目、飛行時間、現地の状況や気象等の可変条件を勘案し、適切なカイトプレーンの機種、撮影機材(ハイビジョンカメラ、CCDカメラ、暗視カメラ等)を選定する。

イ.飛行ルートの設定

想定上の出火場所、延焼範囲、消防隊の進入路、消防活動箇所、入山者、残火・再燃箇所等を記入した地図を作成し、これをもとに情報収集のための飛行ルートを設定。この場合において、火災による上昇気流や放射熱等の影響により、延焼範囲の上空や低高度での飛行の困難性を考慮して高度や撮影角度を変えるなど、複数の飛行ルートを設定。

ウ.可視カメラによる情報収集

仮想延焼範囲内に目印2箇所及び人員を2名配置し、基地局にて映像を見ながら、高度、カメラの角度、ズーム、各地点の座標を調整して撮影し、データ収集を行う。また、撮影した映像をもとに以下の情報が把握できるか確認する。

- 火災現場の地形
- 消防隊の進入路
- 消防隊の活動状況(活動中の車両や人)
- 入山者

機器構成は以下のとおり。

○カメラ：ハイビジョンカメラ(民生品)

○通信機：機体制御用 SS(=Spread Spectrum)通信機
画像伝送用 SS 無線 LAN

エ.暗視カメラによる情報収集

仮想延焼範囲内に熱源 2 箇所及び人員を 2 箇所に設置し(熱源のうち 1 箇所は木陰などの上空から視認不可能な場所に設置)、基地局にて映像を見ながら、高度、カメラの角度、ズーム、各地点の座標を調整して撮影し、データ収集を行う。

また、暗視カメラにより、残火・再燃箇所を想定して設置した熱源が認識できるか確認する(日没前及び日没後)。熱源として、0.8m×1.2m の鉄製の火皿内で燃焼させた木材と石油ストーブを用いる。

機器構成は以下のとおり。

○カメラ：暗視カメラ(レンズは 25 mm を使用)

○通信機：機体制御用 SS 通信機
画像伝送用 SS 無線 LAN

オ.G P S による情報収集

カイトプレーンから送られてくる G P S データを利用して延焼範囲が把握できるか確認する。

カ.撮影画像の記録

カイトプレーンで撮影した映像は、搭載したビデオで記録するほか、拠点においてリアルタイムに受信した画像も記録する。記録にあたっては、撮影時の条件(飛行高度、撮影角度、撮影倍率、カメラの種類、気象条件等)を明確にする。

キ.実験スケジュール

実験は、表 5.1.2 のような予定で実施した。また、実験のおおまかなイメージを図 5.1.4 に示す。

表 5.1.2 実験当日のスケジュール

8 : 3 0	～敷島総合公園で準備開始～ ・実験現場への機材搬送
9 : 0 0	・基地局の設営 ・カイトプレーン組み立て ・気象状況（気温や風速等）及び飛行ルート・高度の確認
1 0 : 0 0	目印、人員（活動人員や入山者を想定）及び車両の設置
1 0 : 3 0	テスト飛行
1 3 : 0 0	～飛行実験開始～ ・可視カメラによる撮影、G P S データの取得 ・可視カメラによる撮影映像の確認
1 5 : 3 0	・熱源、人員及び車両の設置、暗視カメラへの積み替え
1 6 : 3 0	・暗視カメラによる撮影 ・暗視カメラによる撮影映像の確認
1 8 : 0 0	～飛行実験終了～ ・撤収

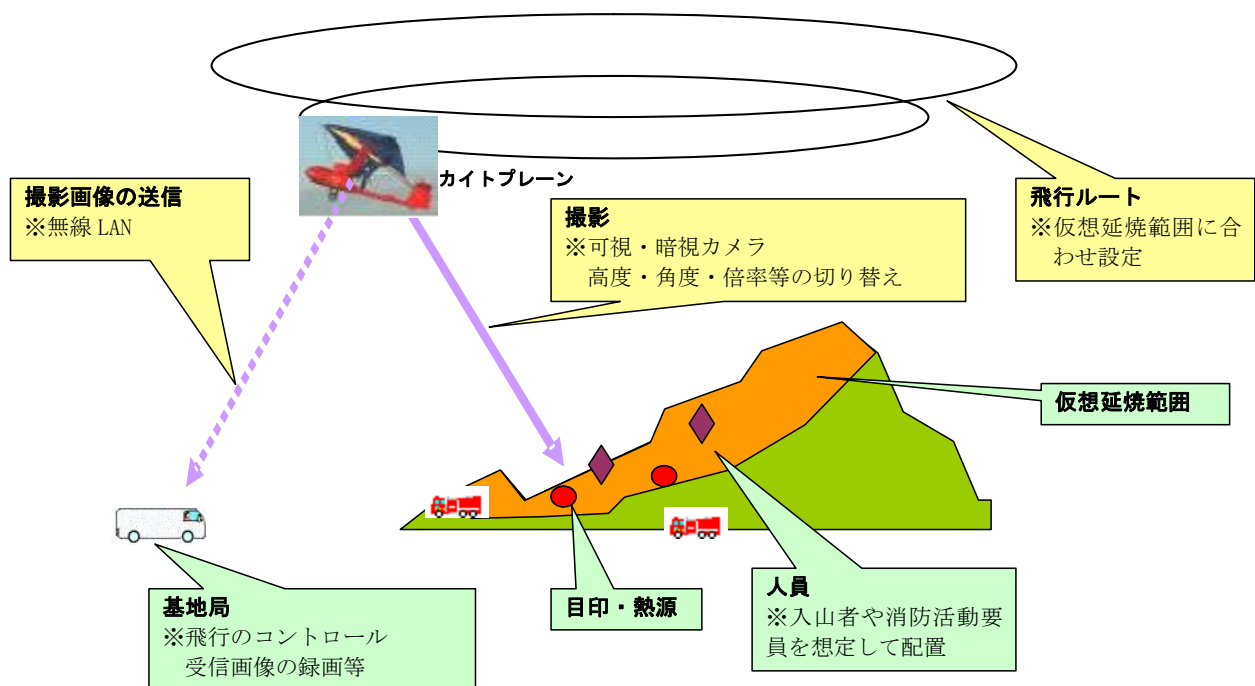


図 5.1.4 実証実験のイメージ

5.2.2 実験結果

(1)可視カメラによる情報収集実験

ア.実験方法

- i : 地点 A・B の 2 箇所を設置した目標物(3.8m×4.0mのブルーシート)及び基地局の車両と人員を撮影する(図 5.2.1)。
- ii : 目標物の映像を基地局にて確認しつつ、高度・通過目標点の座標及びカメラのチルト(上下動作)角度・ズームを調節する。



図 5.2.1 公園周辺航空写真

イ.使用機材

- カイトプレーン：カーボン製カイトプレーン
- カメラ：ハイビジョンカメラ

ウ.結果

通過目標地点(ポイント)1を基地局から北に 500m、ポイント 2 を基地局から北西に約 70m、高度はいずれも 250mに設定した(図 5.2.2)。



図 5.2.2 モニターソフト画面の例

機体は設定したポイントと高度を自動飛行し、車両と人を撮影することができた。対地速度で 50km/h 位であったが、画面上ではゆっくりと移動しており、画像内容を識別することが可能であった(図 5.2.3、図 5.2.4、図 5.2.5)。



図 5.2.3 基地局周辺の車両・人の様子(高度約 115m)



図 5.2.4 基地局周辺の車両・人の様子(高度約 150m)



図 5.2.5 基地局周辺の車両・人の様子(高度約 220m)

ブルーシートを置いた A 点 B 点に関しては飛行ポイントの設定位置の関係で鮮明に撮影できていなかった。機体が旋回しているときの画像になってしまった(図 5.2.6、図 5.2.7、図 5.2.8)。



図 5.2.6 A 点の映像(高度約 158m)



図 5.2.7 A 点の映像(高度約 158m)

動画で見るとわかるが、距離があるうえに機体が旋回中である為に短い時間しか画面に映っていなかった。今回はA点とB点を直線で通り過ぎるルートを設定しなかったため、これらの点を確認できる安定した画像を得ることができなかった。



図 5.2.8 B 点の映像(高度約 280m)

エ.可視カメラによる情報収集のまとめ

車両及び人員は 200m 上空からでも確認することができた。ズーム機能を駆使すればより拡大した画像が得られると思われる。

A 点と B 点に置いたブルーシートの撮影に関しては、ちょうど旋回中での撮影になってしまったため、鮮明な画像が得られなかった。しかし、点 A・点 B を通る直線上にポイントを追加すれば鮮明に撮影できたと思われる。例えば、図 5.2.9 に示すような追加ポイントを設定すればよい。

図 5.1.13 の黄色の破線が理想的な飛行ルートである。旋回中は映像の確認が困難なので、撮影目標地点へ真っ直ぐ進入するようなポイントの設定をするとよい。

撮影目標地点にいる人員と基地局のナビゲーター間の連絡方法についても、携帯用 GSP 受信機やインカムを活用すれば、より迅速かつ的確な情報を得ることが可能であると思われる。

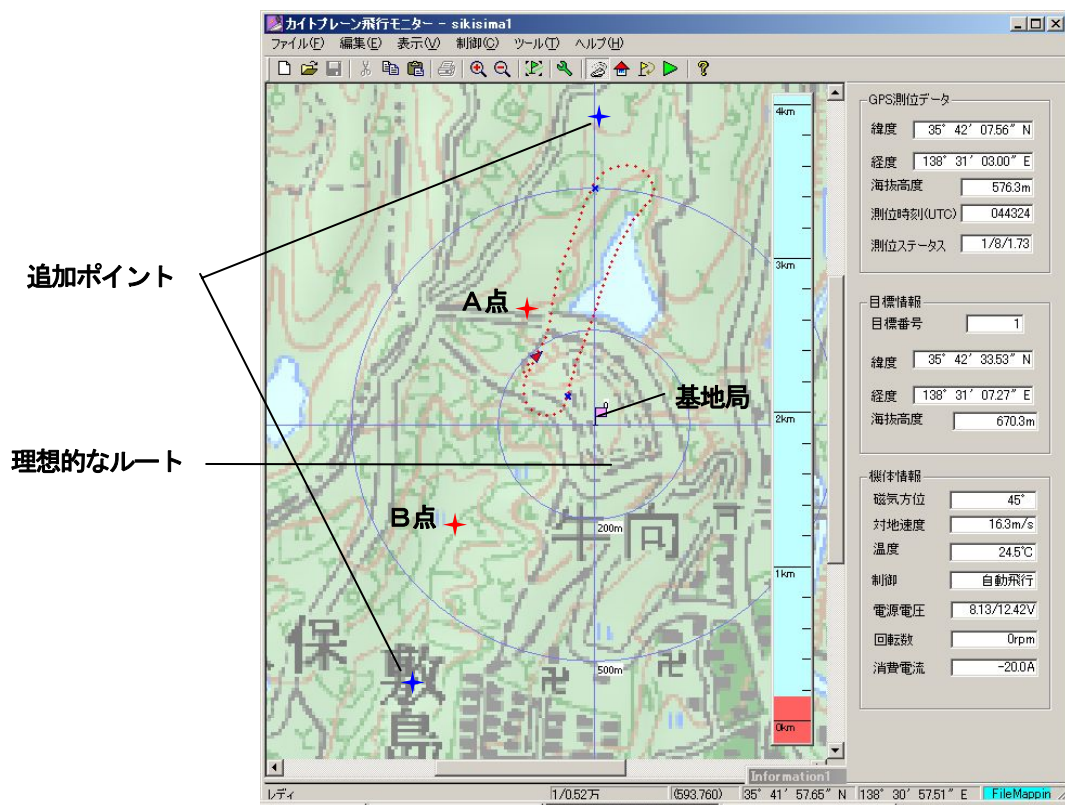


図 5.2.9 ポイント追加による飛行ルート変更

(2)暗視カメラによる情報収集実験

ア.実験方法

- i : 仮想延焼範囲内に残火・再燃箇所を想定して設置した熱源 2 箇所(C 点、D 点)の映像を基地局にて確認する。

C 点：焚き火(約 1 m²) 3 つを上空の見通しの良い場所に設置(図 5.2.10)。

D 点：石油ストーブ 3 台を木陰に設置(図 5.2.11)。

- ii : 基地局にて映像を見ながら、通過目標点の座標・高度及びカメラのチルト(上下)角度・ズームを調整する。



図 5.2.10 C 点焚き火の状況



図 5.2.11 D 点ストーブの設置状況



図 5.2.12 熱源配置図

イ.使用機材

- カイトプレーン：消防研究センター所有のカイトプレーン
- カメラ：暗視カメラ(レンズは 25 mmを使用)

ウ.実験結果



図 5.2.13 C 点の熱源(高度約 330m)

図 5.2.13 では、焚き火とストーブの熱源を捉えている。発煙筒も確認することができる。

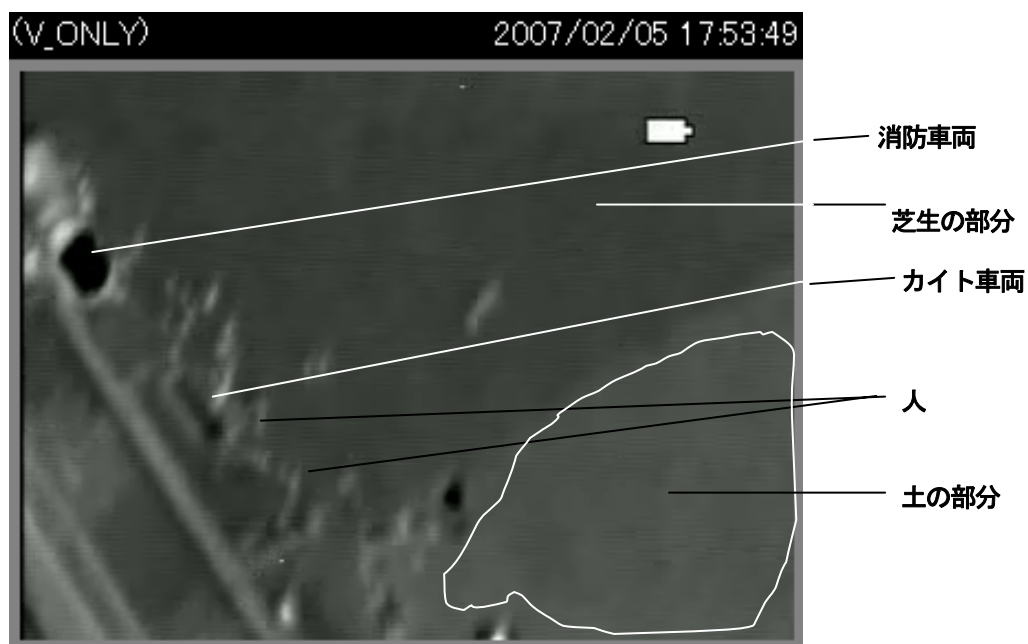


図 5.2.14 基地局付近(高度約 120m)



図 5.2.15 D 点の熱源(高度約 350m)



図 5.2.16 基地局と熱源(高度約 350m)

図 5.2.14 では、芝生部分と土部分を見分けることが可能であった。屋根が金属の車両は、よく冷えていたようで暗く映し出されている。人の存在もわずかであるが捉えている。図 5.2.15 では、木立の陰に置いた石油ストーブを確認することが可能であった。図 5.2.16 で火皿の上での焚き火が 3 つ映し出されているが、この時刻では一番下のひとつが熾(おき)の状態であったが、画像でははっきりと捉えられている。芝生、土、アスファルトの温度の違いが濃淡で示されている。

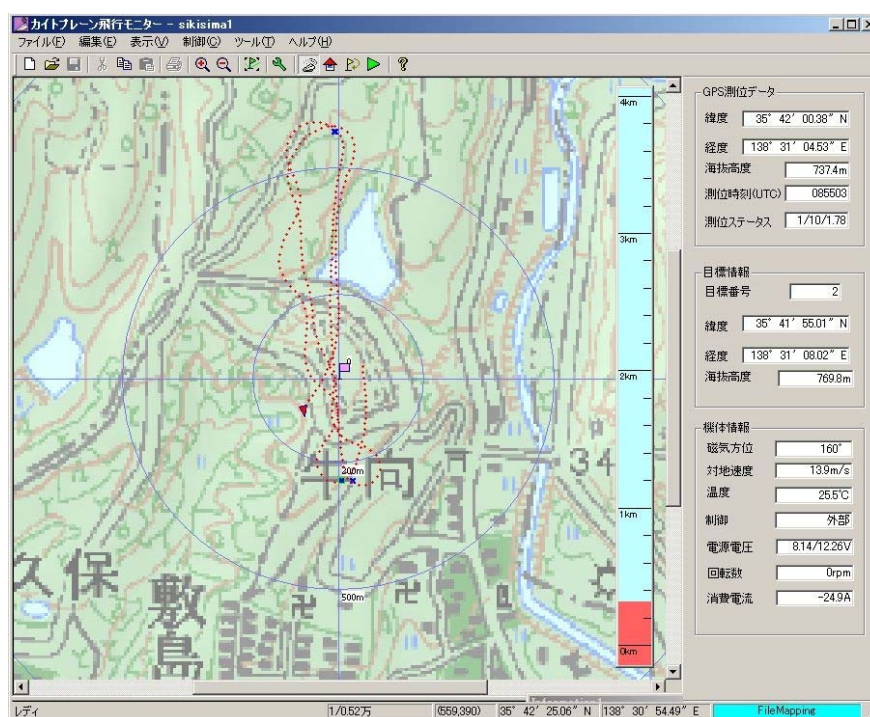


図 5.2.17 モニターソフト画面上の飛行ルート

図 5.2.17 は暗視カメラを搭載しての飛行ルートを示した図である。中心の基地局を南北に通過するルートを通っている。

エ.暗視カメラによる情報収集のまとめ

暗視カメラは、赤外線強度によりモノクロの画像を得られる。高温の物体は赤外線を強く放射しているため、白っぽく映し出される。昼間の太陽光を強く反射する部分を白く捕らえてしまうが、夜間では太陽光の外乱が少ないため、比較的安定して画像が得られる。

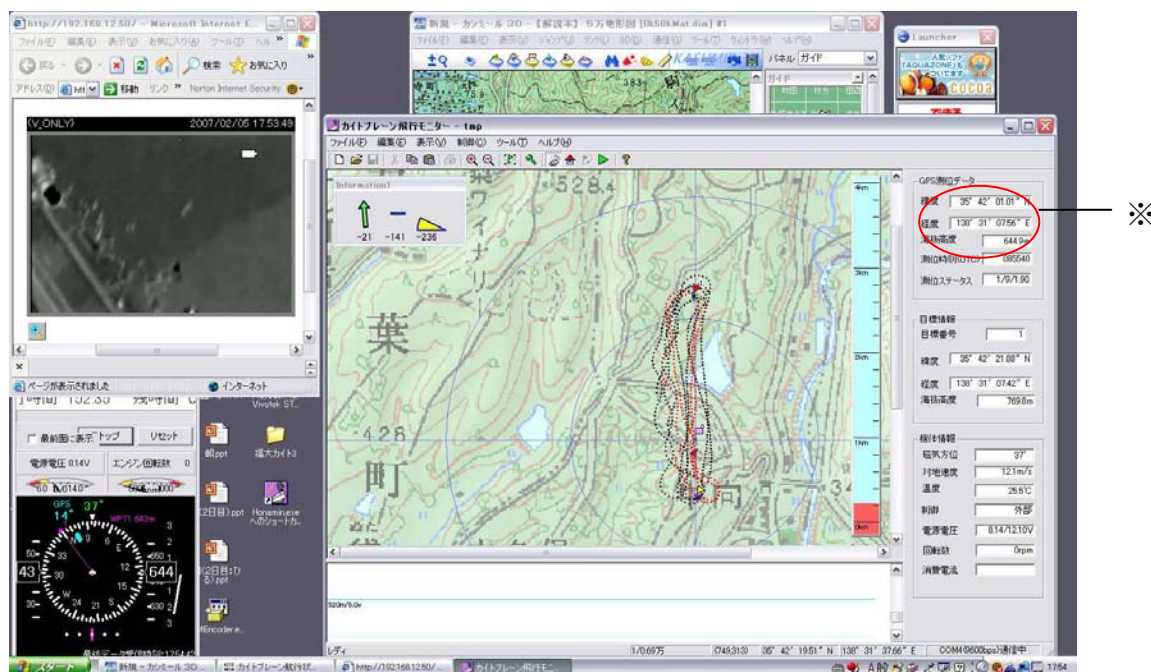
機体は安定した自動飛行を続け、映像の記録も成功した。暗視カメラは日没前も日没後も変わらない画像を捉え、300m上空からでも、火皿の熱源や木立の陰の石油ストーブの位置を確認することができ、人間の体温を感知することもできた。また、道路の所在、植生の違いをモノクロの濃淡で確認することができた。

映像の受信が断続的に途絶える状況であったが、機体側の無線機とアンテナをつなぐ同軸ケーブルの接触不良が原因であった。

(3)GPS データによる延焼範囲の把握について

撮影したい地点の座標を上空から求めるには、カメラを真下に向けて飛行させ、画像のほぼ中央に目標物が映し出された時の座標をモニターソフト画面より読み取る方法がある(図 5.2.18)。

しかし、モニターソフト画面はリアルタイムに変化する為、この方法はあまり有効ではないと思われる。スクリーンショット機能を用いて画面をファイルに保存する方法もあるが、保存した画面をファイルから呼び出して座標を確かめなければならず、ナビゲーターはその間モニター画面を見ることができない為、緊急時の操作が難しくなる。ナビゲーターに補助要員を付加すればこのような問題は解決できると思われるが、敢えてナビゲーター 1 名で目標物の座標や任意の 2 点間の距離を把握する方法を考えてみた。



* 基地局の大まかな座標が北緯35° 42′ 01.01″、東経138° 31′ 01.01″だと認識できる。

図 5.2.18 モニター画面スクリーンショット

ア.ある地点 A の座標を求める

○地点 A の位置が基地局より北から北西の範囲内で、距離が 1km から 2km あるという情報は既に得ているものとする。

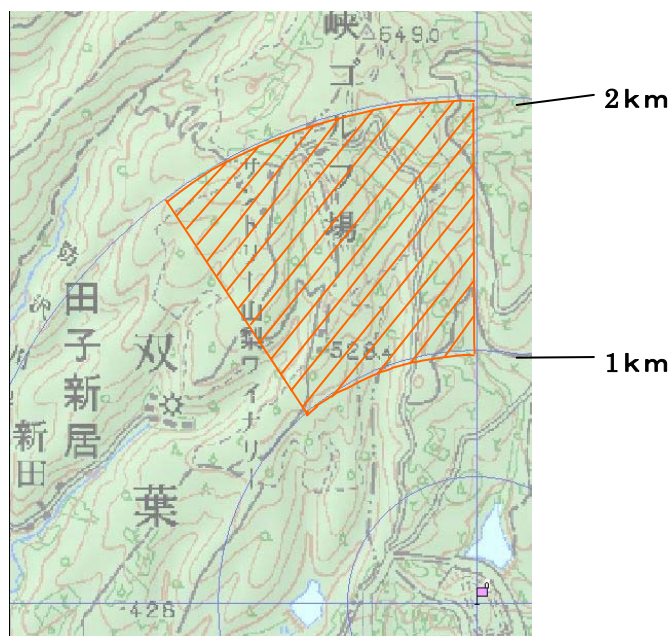


図 5.2.19 地点 A が存在する範囲

○ポイント 1 番(機体が通過するポイント)を原点より 2km 地点より先に設定する(2km ちょうどだと手前で旋回する可能性がある)。

○ポイント 2 番は原点より北に 1km 地点より手前に設定する。

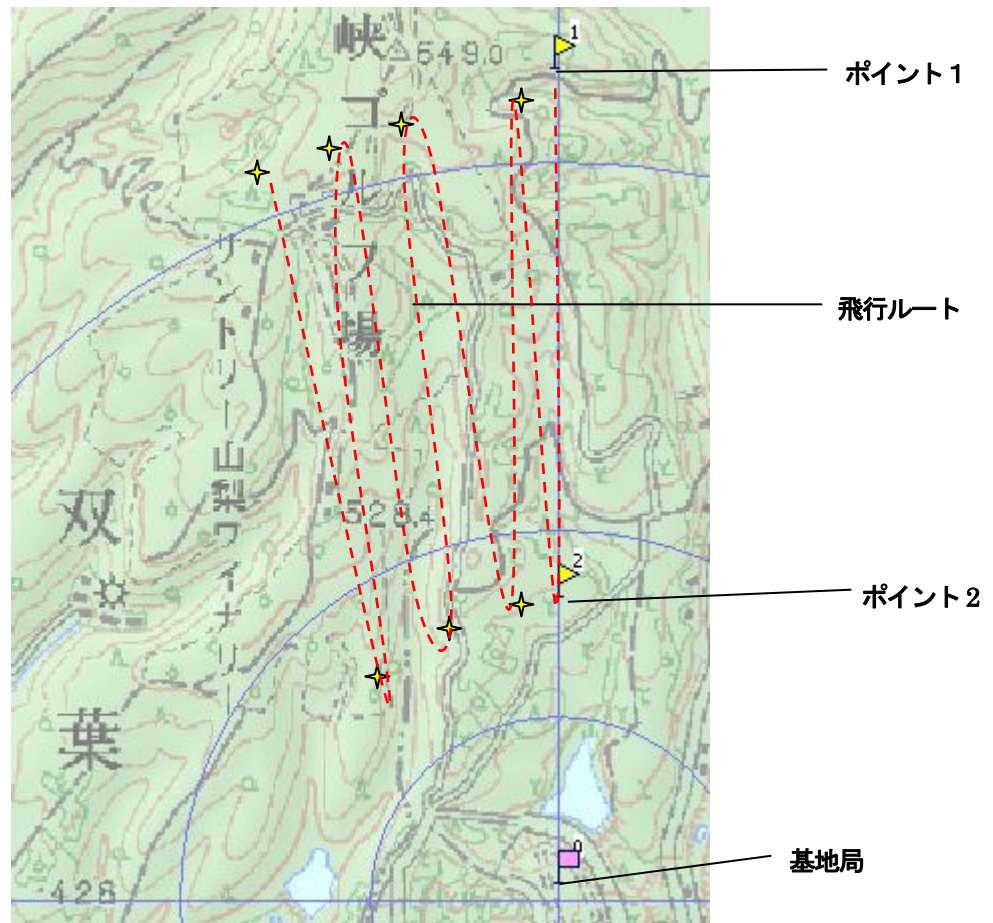
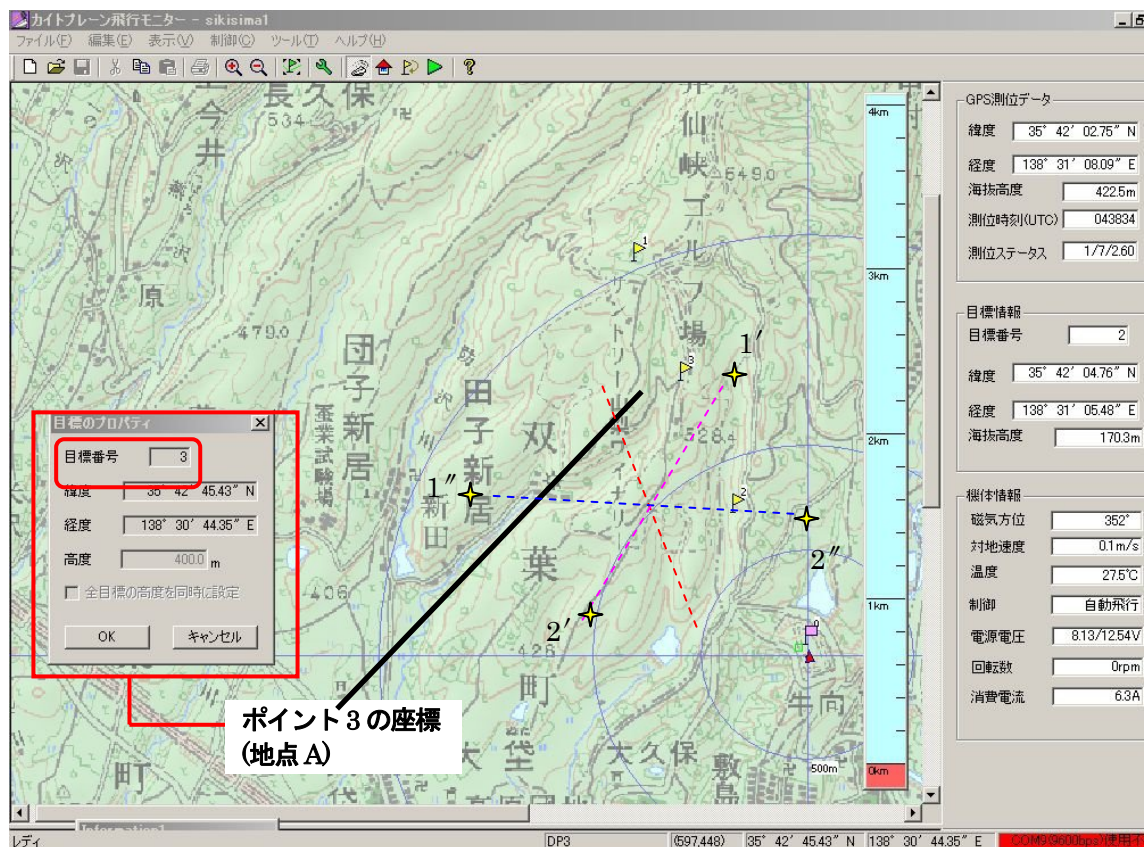


図 5.2.20 飛行ルートの変更要領

- ポイント 1 と 2 を原点からの距離を保ちつつ少しずつ西に移動させ地点 A を探索する(図 5.2.20)。ポイントは自動航行中でも移動が可能である。
- 地点 A が映像モニターに映ったら新たにポイント 3 を設定する。地点 A 上空がポイント 3 に設定されたことにより、地点 A のおおまかな座標を得ることができる。
- この状態でポイント 1 と 2 を固定すれば機体は地点 A 上空を往復するルートを取る。
- ポイント 3 が、ポイント 1 と 2 を結ぶ直線上にあれば様々な方向から地点 A を見ることができるので、ポイント 1・2 間の距離を短くしたり、各ポイントの高度を調節したりして、地点 A の情報をより詳細に得ることができる(図 5.2.21)。



* ポイント1を1'、ポイント1を2'に移動させることによって北東方向・南西方向から地点Aを確認できる。同様にポイント1"、2"で東西方向から地点Aを確認できる。

図 5.2.21 目標地点の座標抽出

イ. 任意の2点A・B間の距離を求める

- ①の方法で地点Aの位置と地点Bの位置を求める。
- 地点A・Bを結ぶ直線の延長線上に新たにポイント1と2を設定する。
- 地点A・Bそれぞれも新たにポイント3と4に設定する(図 5.2.22)。

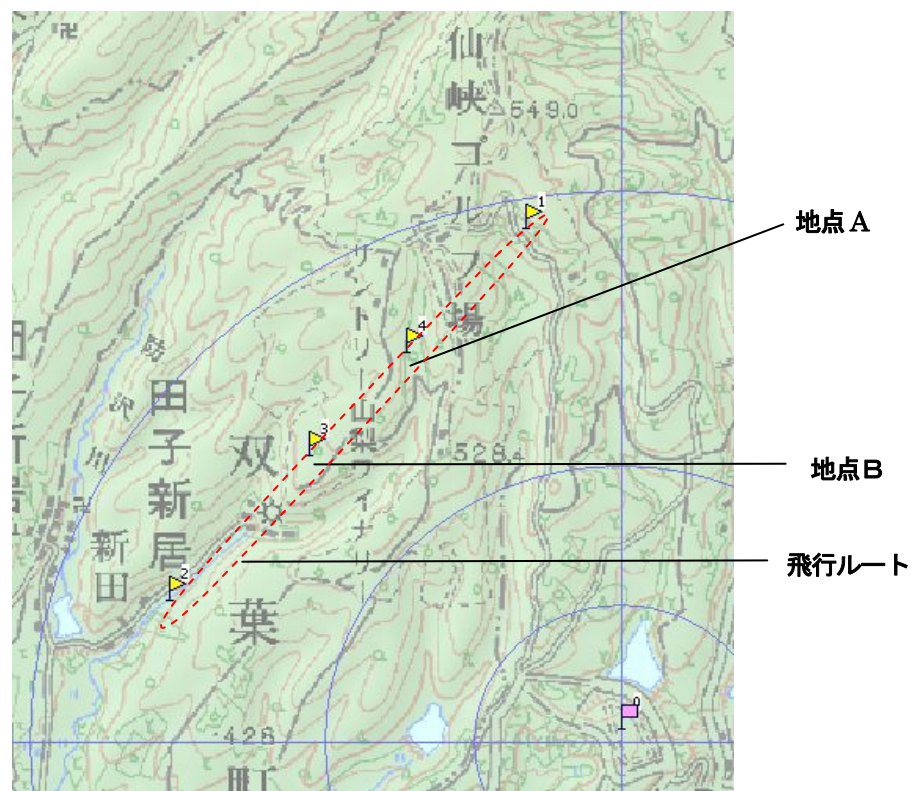


図 5.2.22 新たなポイントの設置

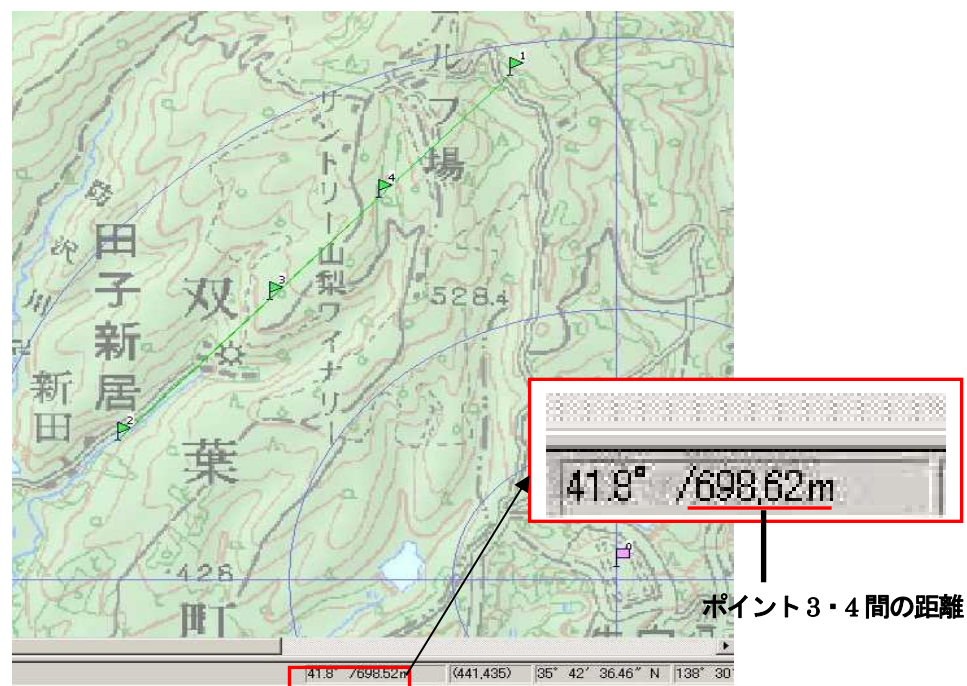


図 5.2.23 ポイント間の距離の表示

○図 5.1.26 でポイント 3 を右クリックすると図 5.2.23 画面になり、ポイント 3－4 間の距離が表示される。

5.2.3 実験のまとめ

(1)可視カメラによる情報収集実験

地上から 200m までであれば人の把握も可能であり、消防隊員の位置や避難の遅れている人の存在を把握することが可能である。また、ビデオカメラのズーム機能を活用すれば、地上から 600m の高さでも、車両や延焼範囲を把握することが可能と思われる。

(2)暗視カメラによる情報収集実験

地上から 300m の高さからでも、木陰に置いた石油ストーブの存在を確認することができた。林野火災の残火の状態を把握することは可能と考える。夜間の撮影であっても、土、芝生、コンクリートの違いや植生の違いも把握することが可能であり、地形の特徴を地図と照らし合わせることが容易に行える。地上にいる人も捕らえることが可能であったため、消防隊員や要救助者の把握も行える。

(3)GPS データによる延焼範囲の把握について

地上の基地局へは 1 秒ごとに機体の位置情報が送られてきているため、これを利用して、延焼範囲や特定の場所の位置情報を得ることが可能であった。

(4)その他

通信を特定小電力の無線に頼っているため、通信範囲が見通しで 2, 3 k m と限られてしまう。無線通信は、出力を上げると免許が必要となることからむやみにあげられないが、防災用に専用の帯域を確保できれば、利用価値がより高まると考える。また、機体に付けたアンテナケーブルの接栓は屋内用の製品のため、飛行中や離着陸時に発生するエンジンの振動や地上滑走中の振動に弱いなどの問題点があった。接栓部分を振動に強くするためのねじ込み式にするなどの工夫が必要である。

機体内で画像をテープに保存しているが、このテープを再生している際、画像と飛行位置の対応付けが難しい。関連付けの手がかりとなるのが現状ではタイムスタンプのみである。

5.3 U A V の有効性と活用方策

(1)有効性

実験当日、実験場所から約 2 k m 離れた場所で畑と林が燃えた実火災が発生した。その現場の映像を図 5.2.24 に示す。これは、現場からの高度約 600m の位置より撮影した画像である。畑 2 面と、その左側の林が燃えたが、黒色に変色しているのが良く分かる。紙面での画像では分かりにくいですが、道路上に赤い消防車両も確認できる。

このように上空からの映像による情報収集は、可視カメラも暗視カメラも有効であることが確認できた。可視カメラでは、人の存在を上空 200m 以下の高度であれば確認する

ことが可能で、更に高高度であっても林野の焼けた状況を色の違いで確認することができる。暗視カメラを用いれば、高度 300m からでも、木材の焼き火が熾(おき)の状態になった熱源や、石油ストーブ程度の大きさの熱源を把握することができる。



図 5.2.24 実験当日に発生した火災現場(畑)

(2)運用条件

林野火災においてU A Vを運用するにあたって必要となる条件を示す。

ア.離着陸場の確保

離着陸場としては、サッカーグラウンドくらいの広さがあり、機体の進入や離陸の方向として最低 1 方向が開けていることが必要となる。

イ.ヘリコプター等に対する安全

消防、防災、警察、自衛隊などのヘリコプター等が飛来してきている場合には、衝突の危険があるため、飛ばすことはできない。また、他のU A Vや気球などとの同時使用も考えられるが、衝突の危険は存在するため、飛行範囲などの取り決めをお互いにする必要がある。

ウ.気象条件

小雨以上の雨が降っている場合、風速 10m以上である場合は飛ばせない。

(3)活用方法

運用条件が整った上で、どのような活用ができるかについてまとめる。

ア.ヘリコプターが到着する前の情報収集

消防、防災、警察、自衛隊などのヘリコプターが飛来してくる前に、災害現場の画像情報の収集を行う。

イ.夜間の監視

夜間飛行を控えているヘリコプターしかない場合に、暗視カメラを搭載して延焼動態、残火の状態等を把握する。

ウ.ヘリコプターの乗務員にとって危険な環境になるような場所での情報収集

カイトプレーンはGPSでの自動航行が可能なため視界が利かなくなるくらいの濃煙がある場合や、有毒なガスが発生している可能性のある場合などに活用できる。

エ.要救助者の探索

日中であれば高度 150m くらいで飛行させ可視カメラで撮影することで人を探すことは可能である。暗視カメラを用いた場合、人の体温による赤外線も捕らえることができるため、できるだけ低空で飛ばすことにより把握が容易になると考えられる。

(4)注意点及び今後の課題

現地対策本部がある場合には、飛行の安全を確保するため、UAVを用いての情報収集を行ってよいかどうかの判断を仰ぐ必要がある。その上で、情報収集を実施する。

自動航行させる場合、高圧線やその鉄塔の有無、山の尾根、建築物などの高さを考慮し、安全に飛行できる高さを入力する必要がある。

今回のUAVは進行方向に障害物がある場合に自動回避する機能を持っていないため、回避させようとすれば、画像を確認しながら手動操縦で回避しなければならない。衝突による落下で被害が予想される場合には、ヘリコプターや他のUAVとの同時飛行は現段階では避ける必要がある。

今回の実験では顕在化しなかったが、無線による手動操縦であるため、電波の混信の懸念は存在する。手動操縦用の周波数は、産業ラジコン用の 73MHz 帯であり、一般的なラジコン用の周波数である。この帯域には7波が割り当てられているが、重ならない保障はないため、別のUAVの操縦に同じ周波数の電波が使われている場合には混信してしまう、UAVが予想外の動きをすることが考えられる。無線信号に個別の識別符号を乗せることや、災害用のUAV専用の周波数の割り当てなどを考慮する必要があるが出てくるかもしれない。