

ヘリコプター用救助支援システムの開発

Development of Rescue Operation Support System for Helicopter



篠田 直正^① Naomasa Shinoda
 久芳 義治^② Yoshiharu Kubo
 安藤 晋一郎^③ Shinichiro Ando
 坂本 純一^④ Junichi Sakamoto

山岳地帯において救助活動中の消防防災ヘリコプターの墜落事故を防ぐため、救助活動時のホバリングおよび不整地などへの着陸において、パイロットに危険を適切に認知させるヘリコプター用救助支援システムを開発している。

システムの本格的な開発に先立ってデモ用評価システムを試作し、システムの検討とマンマシン・インタフェースの確認を行うとともに、障害物検出センサの事前評価と無線LANが機体に与える影響についても確認した。

To prevent fire-fighting and rescue helicopters from crashing during rescue operations in mountain areas, we have developed a rescue operation support system for helicopters to help the pilot properly recognize risk when hovering during rescue operations or landing on uneven terrain.

We prototyped a system for demonstration and assessment to examine the system, check the man-machine interface, assess the obstruction detection sensor in advance and verify the effects of wireless LAN on the fuselage before starting full-fledged development of the system.

まえがき

ヘリコプターによる救助活動は、陸路や海路からのアクセスが困難であったり時間を要したりする場合に有効である。特に国土の7割が山間部である日本では、消防防災ヘリコプターの救助出動件数のうち約6割が山岳救助活動のための出動となっている。

1 背景

ヘリコプターが高度と位置を固定したホバリング飛行状態でホイスト装置から繰り出されるロープを用いて吊り上げを行う救助方法は、離着陸するスペースがない場所での人員救出において極めて有効な手段である一方で、衝突などの危険を伴うことになる。

山岳地帯において救助活動中の消防防災ヘリコプターの墜落事故を契機に、消防庁は事故再発防止のため平成24年3月に「消防防災ヘリコプターによる山岳救助のあり方に関する検討会報告書」を作成した。この報告書を受けて各部隊は、「機体左後方などの機外監視などを行う機内補助者を増員する」とともに「ホバリングする際には、障害物から水平方向に10m、下方向に6m以上のクリアランスを確保する」などの安全運航基準を明確にしている。また、すべての災害活動において操縦士2名体制で対応するよう義務付けた防災航空隊もある。いずれも機外の安全監視を

強化したものであり、このことから山岳救助活動の困難さがうかがえる。

2 ヘリコプター用救助支援システムの開発方針

ヘリコプター用救助支援システムは、ホバリングによる人員救助活動や不整地への着陸において、周囲障害物の監視を支援して人的負担を軽減するため、周囲視界映像（特に後方視界映像）と下方視界映像および周囲の障害物距離情報を専用の表示装置に提示するシステムである。開発にあたっては、低コストかつ容易に機体に装備可能とすることとした。

(1) 障害物検出センサの低コスト化

一般的な航空機用レーダは、数キロ先の障害物や気象情報を取得できるが非常に高価である。本システムは人員救助活動時のホバリングや不整地への着陸時の周囲障害物の監視に限定しており、自動車の自動運転用に開発された障害物検出センサとカメラを採用することで低コスト化を実現する。

(2) 機体への装備の容易化

機体への装備を容易にするために、専用表示装置と計算機との通信に無線LANを用いることで、必要な配線を

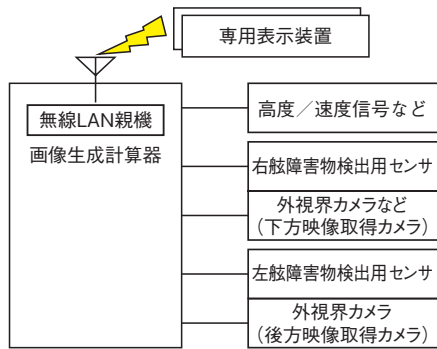


図1 システム構成
Fig.1 System configuration



図2 機体への装備イメージ
Fig.2 Image of installation

最小とする。具体的には次のように対応している。

- ・ヘリコプター右舷の乗降用ステップ後方に右舷側障害物検出センサおよび後方映像取得カメラを、ヘリコプター左舷の乗降用ステップ後方に左舷側障害物検出センサおよび下方映像取得カメラをそれぞれ装備する
- ・画像生成計算機および無線LANの親機を機内キャビン後方に装備する
- ・専用表示装置を機内持ち込み品とすることで、操縦席周りの改造を行わない

システム構成を図1に、機体への装備イメージを図2にそれぞれ示す。

3 デモ用評価システムの試作

システムの本格的な開発に先立ち、要素試験を行うためにデモ用評価システムを製作した。主なハードウェアについて詳細を示す。

(1) 障害物検出用センサ

障害物検出用センサは、自機から障害物までの距離と方向を検出する。機体周りの全地球エリアの障害物が検出できることが理想であるが、メインロータおよびテールロー

タ(図2参照)と障害物とのクリアランスを確保することを優先し、機体の周囲(特に後方および側方)の障害物を検出することとした。実機では水平180°の覆域を有する障害物検出センサを両舷後方に配置するが、デモ用評価システムでは小型無人機胴体下部に装備して評価を行うため水平360°の覆域を有するVelodyne社製のレーザーレーダ(VLP-16)1台を採用した。仕様を表1に示す。

(2) 外視界カメラ

外視界カメラは、自機の周囲映像を取得する。図3に外視界カメラの映像取得範囲を示す。カメラ映像は、機体全周(アラウンドビュー)および広範囲な下方映像(バードビュー)を取得できることが理想である。

デモ用評価システムでは、小型のウェブカメラを後方用および下方用として計算機に接続して、複数のカメラを無人ヘリコプターに搭載して振動の影響を確認した。

(3) 専用表示装置

専用表示装置は、機体からの電源供給を受けない独立したものとし、汎用のパッド型ディスプレイおよびヘッドマウントディスプレイ(HMD)を採用した。本システムを実機に搭載する際の費用を最小とするため、画像生成計算機との通信に無線LANを用いた。また、これらは航空機搭載品とせず機内持ち込み品とした。

表1 Velodyne社製レーザーレーダの仕様
Table 1 Specifications of laser radar from Velodyne

センサタイプ	16個のレーザー+検出器
測定範囲・測定視野	水平360° 全方位 垂直30° (+15° ~ -15°)
測定距離 [m]	約100 (1~100)
測定ポイント数 [ポイント/秒]	約300,000ポイント/秒
測定精度	±3 cm (1σ@25m)
レーザークラス	Class 1 Eye Safe
レーザー波長 [nm]	903
重量 [g]	約830
寸法 [mm]	H71.7×φ103.3

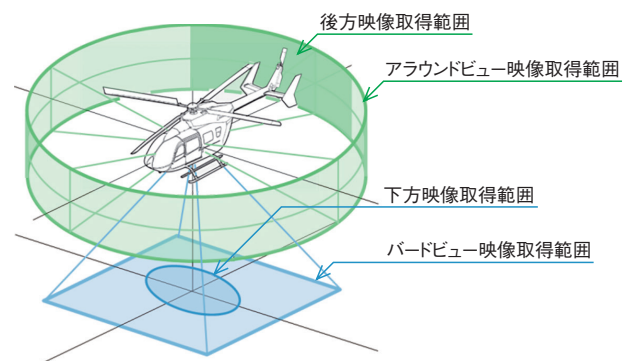


図3 外視界カメラの映像取得範囲
Fig.3 Video acquisition range of the external view camera

(4) 画像生成計算機

画像生成計算機は、ホバリング時の状況把握に必要な慣性センサからの機体の姿勢・位置・速度信号と障害物検出用センサ情報および外視界カメラからの映像を元にして、各乗務員に提示する画像を生成するもので、航空機搭載環境に対応した専用計算機である。

デモ用評価システムでは、同等の性能を有するノートパソコンで代用した。

4 デモ用評価システムによる事前確認

デモ用評価システムを用いて実施した要素試験の結果について示す。

(1) 専用表示装置により提示する情報の精査

専用表示装置により提示すべき情報を、消防防災隊の方々のご指摘を受けて設計した。

表示例を図4に示す。ホバリング状況表示については、機体を中心とした円周上に赤・黄・緑の3色で障害物の状況（赤：自機中心より5m～15m／黄：同16m～25m／緑：26m～35m／36m以遠は非表示）を示すとともに、自機の水平移動速度ベクトル（移動方向と移動速度）を青い直線で示している。また、右側に垂直移動速度バーと高度情報を表示している。さらに、垂直移動速度を右上欄、水平移動速度を左上欄にそれぞれ数字で表示している。

後方表示については、後方映像取得カメラからの映像を表示している。また、バックミラーで後方を見ることを想定し、映像は左右逆転して表示させている。下方表示については、下方画像に自機の機影（CG）を重ねて表示している。そして、左下の小さな画像をタッチすることで後方表示と下方表示を切り替えることができる。

HMDについては、ホバリング状況表示のみを表示している。



図4 専用表示装置の表示例
Fig. 4 Display example of the dedicated display unit

(2) Velodyne社製レーザーレーダの性能確認

レーザーレーダからターゲットまでの距離精度を計測し、1mから100mの範囲で誤差は50センチ以下であることを確認した。

また、センサターゲットの材質による影響を確認するため、フィールドデータを取得して建物と木が共に検出されていることも確認した。レーダ取得データとともに同じ場所の写真を図5に示す。

レーザーレーダは、雪や大粒の雨についても障害物として検出する。本システムは、有視界飛行時に使用するシステムであるが、山岳地帯の一時的な天候の悪化などを考慮して、雪粒などの飛散物の影響を低減するための処理を行った。処理アルゴリズムにおいては、メインロータの回転範囲内であるような至近の観測結果は無視している。また、センサからの距離によって一定時間内の障害物の判定基準回数に重み付けをして、近い距離については複数回同じ位置に検出した場合にのみ障害物と判定するとともに、距離が遠くなるに従って判定基準回数を減少させている。さらに、機体の速度が一定未満の場合では判定基準回数を増加させるなど、機体の速度に応じて変更している。

静止状態において、距離に応じた判定基準回数を適用した場合の障害物検出結果を図6に示す。雪の影響なく障害物を判定できている。

今後は移動状態における判定基準回数の妥当性についても評価を行う。

(3) ラジコンヘリコプターによる飛行試験

振動に対するレーザーレーダおよびカメラの影響評価のため、デモンストレーション用評価システムをラジコンヘリコプターに搭載して飛行試験を実施した。

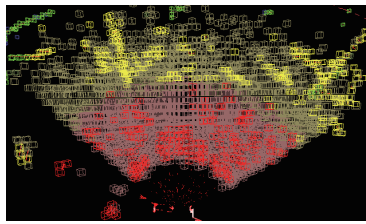
図7に示す通り、後方用と下方用のウェブカメラを機体に装備し、ノートパソコンおよび慣性センサを機体腹部に取り付けた箱の中に設置した。

専用表示装置は、本システム構成上は機内にて周囲の障害物および飛行状況をモニタするための装置であるが、本試験においてはラジコンヘリコプターからのデータを地上で受信して飛行状況をモニタした。

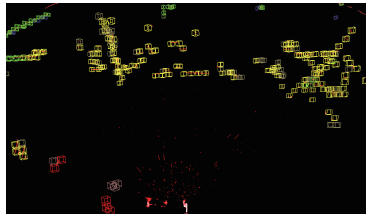
レーザーレーダが障害物を認識することと障害物の確認



図5 レーダ取得データと写真の対比
Fig. 5 Comparison between data acquired by radar and photo



(a) 処理前



(b) 処理後

図6 降雪時の障害物検出結果
Fig.6 Obstruction detection results in snow

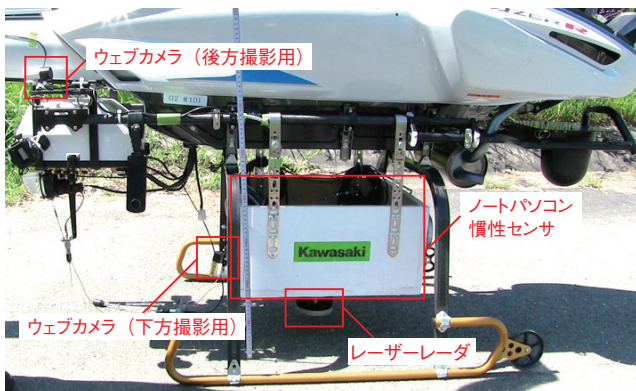


図7 デモンストレーション用評価システムの搭載状況
Fig.7 Equipment of the system for demonstration and assessment

目的であれば、機体の振動はカメラ映像にそれほど影響しないことを確認した。

試験において取得した専用表示装置の画像を図8に示す。左上にはテールロータを徐々に山に接近させたときのホバリング状況表示を左下には後方表示の映像をそれぞれ示しており、ホバリング状況表示画像では障害物が機体右舷後方に接近していることが分かる。また、同図右側は遠方から自機を撮影した画像である。

(4) 無線LANの実機への影響確認

本システムでは、画像生成計算機から専用表示装置への画像およびデータの伝送手段として無線LANを採用している。これは軽量化および配線作業の低減に効果的ではあるが、機体の電子システムに対して影響を及ぼす懸念もあるため、デモンストレーション用評価システムの一部を用いて試験を実施した。

試験は2.4GHz帯の無線LAN機器を用い、電子装置が比較的多く装備されているコックピット付近に設置した。ウ

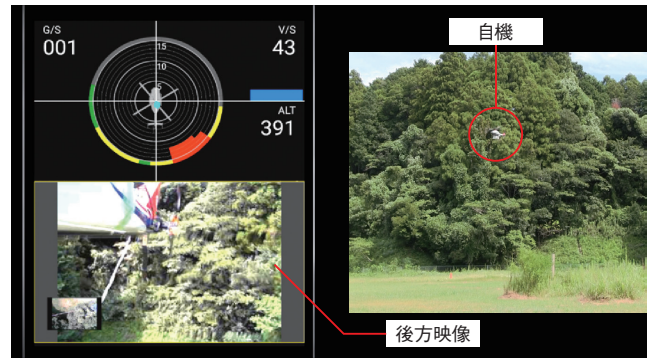


図8 専用表示装置の画像（左下）および飛行映像（右側）
Fig.8 Image of the dedicated display unit (left bottom) and flight movie (right)

ェブカメラ1台を機外モニタ用として後列右席の窓側に設置しており、別の1台は電磁干渉の影響で無線LANが切れた場合にそのことを目視判断するために使用した。

試験の結果、無線LANの電波が、機体の表示装置・機内交話装置・GPS装置・外部無線装置などの電子システムに有害な電磁干渉を与えないことを確認した。さらに、専用表示装置を常時作動させた状態において機体の電子システムを操作した場合に、その表示や画像切替え操作に異常がないことも確認した。

あ と が き

現在、本システムの実機搭載用プロトタイプの製作に向けて、ヘリコプターに搭載可能な小型で安価な障害物検出センサや映像取得用カメラなどの選定を行っている。2019年度後半には、ヘリコプター「BK117」に搭載して飛行実験を実施する計画である。コストやサイズなど検討課題はあるが、製品化に向けて開発を推進している。

本システムの開発にあたり、運用者の観点から貴重な意見をいただいた岐阜県防災航空隊、埼玉県防災航空隊、愛媛県消防防災航空隊、徳島県消防防災航空隊、香川県防災航空隊関係各位に謝意を示す。



篠田 直正



久 芳 義 治



安藤 晋一郎



坂本 純一