

大型産業用無人ヘリコプタ RoboCopter 300

Multipurpose High-Performace Unmanned Helicopter “RoboCopter 300”

宮森 剛
Gou MIYAMORI
川田工業(株)航空事業部開発室

趙 群飛
Qunfei ZHAO
川田工業(株)航空事業部開発室係長

塚田 郁弘
Ikuhiro TSUKADA
川田工業(株)航空事業部開発室係長

平井 正之
Masayuki HIRAI
川田工業(株)航空事業部開発室

赤地 一彦
Kazuhiko AKACHI
川田工業(株)航空事業部開発室

太田 成彦
Shigehiko OHTA
川田工業(株)航空事業部開発室

An unmanned helicopter has been developed by Kawada Industries, Inc. and Schweizer Aircraft Corp. The unmanned helicopter will utilize the main structure/airframe of a manned Schweizer 300CB helicopter, while the entire electric/control system is newly developed. High payload and long endurance are achieved, and direct operating cost is reduced through the use of automobile gasoline. The development procedure is described, and the application of this remotely piloted helicopter is discussed.

Key words: UAV, remotely piloted helicopter

1. はじめに

近年，無人ヘリコプタが農薬散布や空中写真撮影などの民間産業分野で活躍する機会が増えている。

図1に大型無人ヘリコプタの特徴をグラフに示す。無人機の最大のメリットはパイロットが同乗していないため，遠く離れた危険地域での作業が行えることにある。大型無人ヘリコプタはさらに，図1に示すようなヘリコプタの特長と大型機の特長を併せ持つことから，長時間の監視活動や救難活動など，幅広い分野で活躍が期待される。

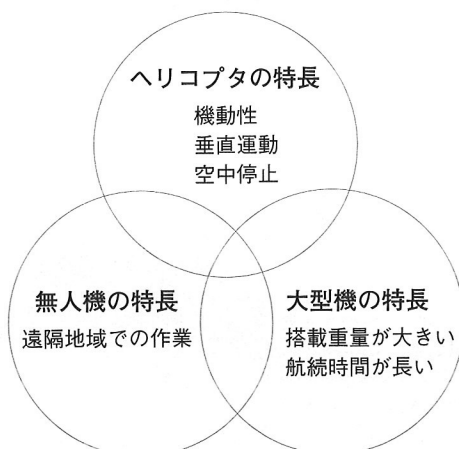


図1 大型無人ヘリコプタの特徴

ここでは，当社が開発中の大型産業用無人ヘリコプタ（以下，RoboCopter）の開発状況について説明する。

2. 試作機（RoboCopter 300）

(1) 特徴

表1に初期試作機RoboCopter 300の主要諸元を示す。ベースとなっている機体は，2人乗りの小型有人ヘリコプタ，Schweizer 300CBである。基本設計仕様は農薬散布作業を考慮し，薬剤を180リットル搭載した状態で，航続時間が約100分程度となるような容量の燃料タンクを装備している。ペイロードを100kg程度に制限した場

表1 RoboCopter主要諸元

重量	全備重量	794 kg (1 750 lb)
	空虚重量	500 kg (1 100 lb)
	有効搭載可能重量	294 kg (650 lb)
エンジン	型式	Lycoming HO-360相当 (自動車用ガソリン使用)
	馬力	125 kW (168 HP)
メインロータ	枚数	3
	半径	4.09 m (13.25 ft)
テールロータ	枚数	2
	半径	0.65 m (2.13 ft)
最大航続時間		100 min. (ペイロードにより最大4時間まで延長可能)

合は、4時間以上の飛行が可能であり、監視カメラを搭載した巡視作業にも適している。

操縦系統には自社で設計・開発したアクチュエータシステムを搭載し、無線送受信系統としては既存の小型産業用無人ヘリコプタで実績のある遠隔無線送受信機を採用している。電波到達距離は基本性能として最大500mまで保証されているが、視界範囲内での操縦可能領域は遠隔操縦者から約150mとしている。

また、エンジンは航空用レシプロエンジンであるLycoming HO-360を、自動車用無鉛ハイオクガソリンでも使用できるように改造したものを搭載している。機体安定装置として3軸の姿勢安定装置を装備しており、安定性を増強している。

図2に機体寸法を示す。有人機を改造する形式をとったことで、開発期間およびコストを大幅に削減できたといえる。また、農薬散布などの作業を行う場合には、散布装置など既存の有人機用のオプションパーツを利用することができる。

写真1に試作機の全体写真、写真2に試作機の計器操作盤を示す。

(2) 運航

運航は基本的に操縦者、地上操作者、監視2名の計4名で行う。地上操作者は飛行前点検として、燃料、オイル、機体の締結部分などの点検を行った後、電波モニターで電波の混信を確認する。確認後、プロポ、機体の順序で電源を投入する。機体の作動確認を行った後、エンジン始動、ロータエンゲージを行う。約5分の暖機運転後、地上操作者は機体のオペレーションを操縦者に移す。

操縦者はエンジン回転数を2600rpmに設定した後、飛行に移る。飛行中、システム異常を知らせる警告灯が点灯した場合、操縦者は速やかに機体を着陸させる措置をとる。また、混信などで操縦不能に陥った場合にはあらかじめ設定した舵（コレクティブピッチフルダウン、サイクリックピッチ中立、エンジン停止）にてその場に自動着陸（降下）させ、人的被害を最小限に抑える措置をとっている。写真3に操作中の様子を示す。

3. 先行開発機

上述した試作機の前段階として先行開発型の機体を製作し、各種実験を行った。この機体（写真4）はこれまでに有人機として運航されてきたHughes 300Cを無人機に改造したものであり、図3に機上システムを示す。

操縦者のスティック操作は送信部から受信部に伝達される。受信部の出力は、直接制御部へ2系統（操縦系統信号、機体モード切り換え系統信号）および非常時のエンジンカット信号の1系統が接続されている。このほかジャイロシステム部より飛行支援信号が入力され、アク

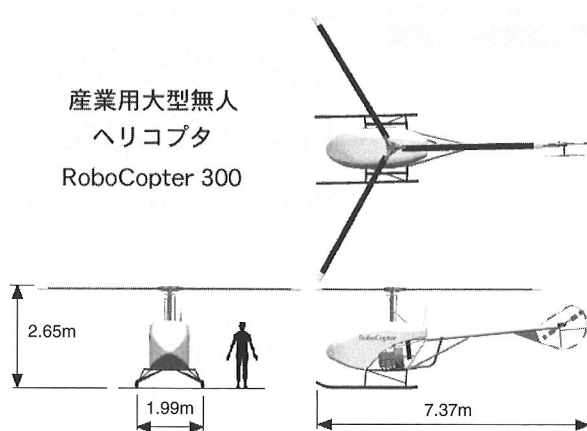


図2 機体寸法



写真1 試作機外形

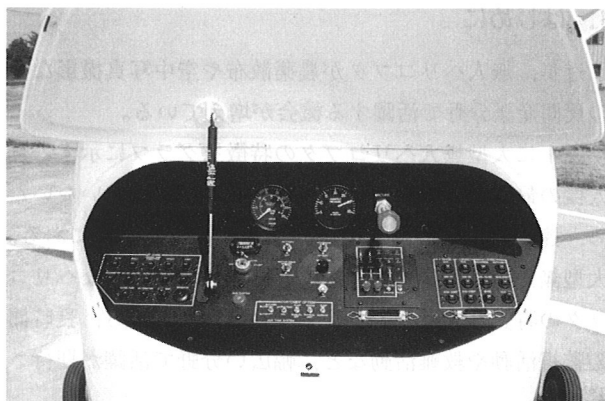


写真2 試作機の計器操作盤



写真3 操作風景

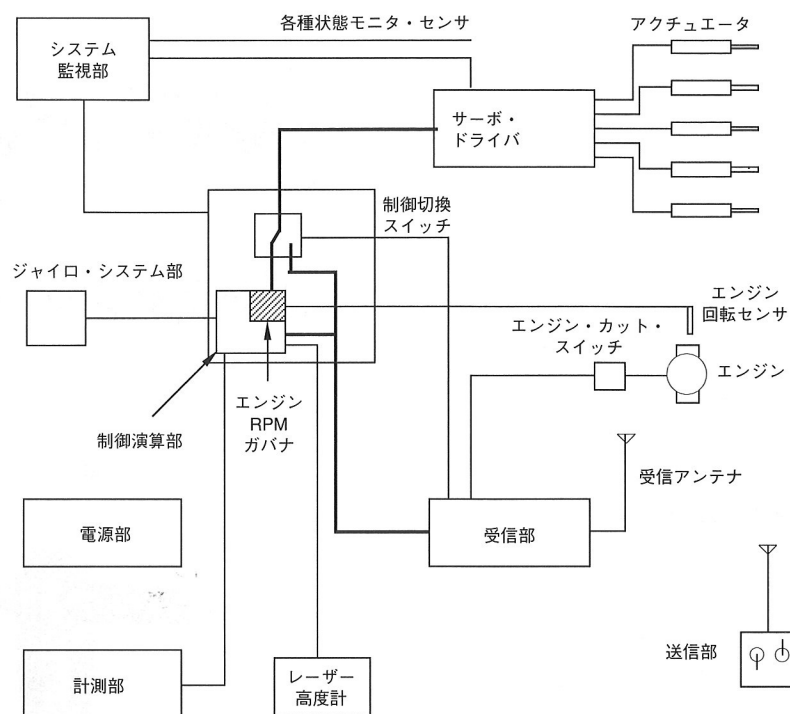


図3 機上システム



写真4 先行開発機



写真6 架台試験風景

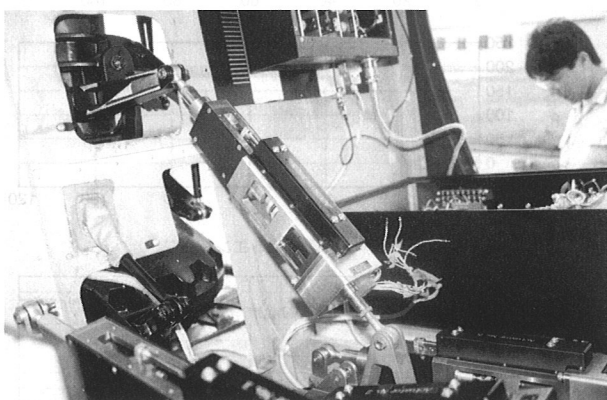


写真5 先行開発機に搭載したアクチュエータ

チュエータの作動量を制御している。また、初期開発段階における安全面の配慮から、送信機からは、エンジン始動、ロータエンゲージ/ディスエンゲージ、通常エンジン停止ができないようにした。操縦者は、機体側での機体/遠隔モード変更後に遠隔操縦が可能になる。また、停止時は、機体/遠隔モードの変更を行い、冷氣運転、



写真7 テザード飛行試験時

エンジン停止などの操作を行った。

写真5に先行開発機に使用したアクチュエータの写真を示す。メインロータサイクリックピッチ制御×2、メインロータコレクティブピッチ制御×1、テールロータピッチ制御×1、スロットル×1の計5本のアクチュエータを搭載している。アクチュエータにより発生した操

舵力は、キャビン内部のリンクを介して、キャビン外部の既存のコントロール系統に伝えられる。よって、キャビン内部のフライトコントロール系統はすべて取り外してあり、パイロットが搭乗することは不可能となっている。

写真6は地上架台試験の写真である。地上架台試験において、ロータのトラッキングやバランスの調整、ガバナの調整、連続運転試験といったロータエンゲージ後の調整作業を行った。その後の飛行試験では、飛行試験計画、制限事項などを担当省庁に申請、許可を取った後、自社敷地内にて行った。飛行試験の初期段階としては、安全を考慮にいて、ロープをつけての浮上、テザード飛行試験を行った。写真7は試験時の様子である。

4. 新開発技術

本試作機を開発するに当たり、ベース機にはないさまざまな技術を開発してきた。以下にそのいくつかを紹介する。

(1) RPMガバナ

ヘリコプタのエンジンは、通常運転中ではその回転数を常に一定に保持されなければならない。つまり、エンジンの負荷（ロータ負荷）に応じてスロットルの開度を調整しなくてはならない。この調整を自動的に行う装置がRPMガバナである。モデルとなった有人機（Schweizer 300 CB）には、この装置が搭載されていないため新たに本装置を開発した。

図4に性能試験結果の一部を示す。ここでは、上段にエンジン回転数（E/G RPM）、下段にコレクティブピッチ量（C/P）を時系列として表している。コレクティブピッチは機体の上昇、下降などパワーの増減にかかわる量で、この量がエンジン負荷に大きく影響する。コレクティブピッチを増加させるとエンジンへの負荷が増加し、スロットル開度一定であれば、エンジン回転数は減少する。RPMガバナはこのスロットル操作を調節してエンジン回転数を一定にする働きをする。維持回転数2600rpmに対して、おおむね±80rpmに収まっており、要求性能±100rpmを満足しているといえる。

(2) オートエンゲージシステム

レシプロエンジンを搭載したヘリコプタはエンジントルクをメインロータへ伝達するためのクラッチを必要とする。図5にクラッチ機構の模式図を示す。エンジンのトルクはベルトドライブ機構を介してロータのドライブシャフトへ伝達される。

ロータエンゲージとは、クラッチアクチュエータの動作を制御することによってベルトの張力を調整し、徐々にエンジントルクをロータドライブシャフトに伝えていく操作のことをいい、自動車の半クラッチ操作がこれに当たる。

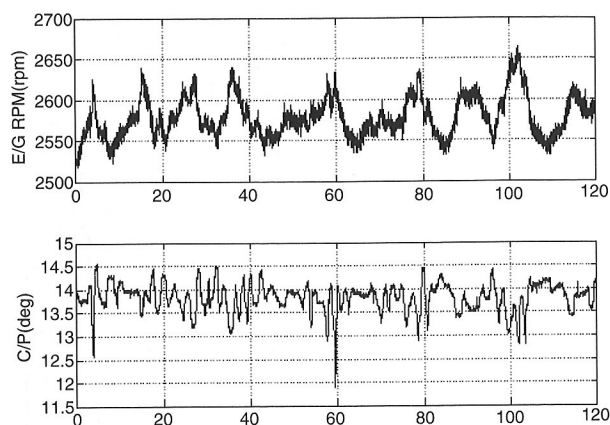


図4 RPMガバナ試験結果例

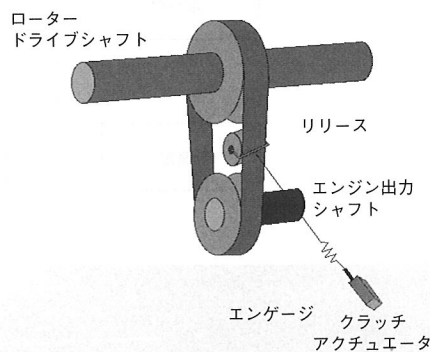


図5 クラッチ機構模式図

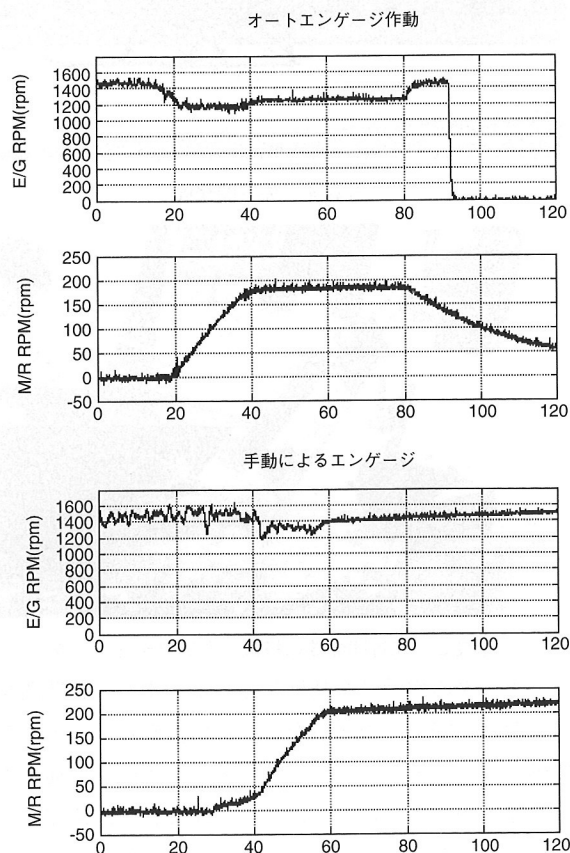


図6 オートエンゲージ試験結果例



写真8 農薬散布装置搭載時

RoboCopter300のモデルとなった有人機Schweizer300 CBではエンゲージ操作に当たって、操縦者がエンジン回転数やロータ回転数を監視しながら手動でクラッチアクチュエータの停止／作動を繰り返すといった複雑な操作が必要となる。また、クラッチ操作を誤って、エンジンを停止させることは、エンジン出力シャフト部分の破損につながる。このエンゲージ操作を自動化することによって、操作者の負担は大いに軽減されるうえ、機体の保護にもつながる。

図6に本装置によるエンゲージ時、手動によるエンゲージ時それぞれについてエンジン回転数ならびにメインロータ回転数の計測結果を示す。エンゲージをはじめメインロータ回転数が徐々に増加していくとエンジン回転数が多少落ち込むものの、ある一定回転数に徐々に落ちついていることが両者のデータよりわかる。なお、オートエンゲージ作動時のグラフで、最終部分でエンジン回転数およびロータ回転数が落ち込んでいるのは、エンジンを停止したためである。



写真9 赤外線カメラとCCDカメラ搭載時

5. 用途

RoboCopterは、その最大の特徴である大きな搭載能力を生かして、種々の用途に利用できる。

(1) 農藥散布

写真 8 に農薬散布装置を搭載した様子を示す。現在、市場で普及している農薬散布用無人ヘリコプタの搭載能力は最大30 kg 程度であり、その10倍の搭載能力を持つ RoboCopter 300は、農業の大規模化、効率化に大きく貢献できる可能性を持つと言える。

(2) 空中摄影

写真 9 に赤外線カメラと CCD カメラを搭載した様子を
示す。このシステムにより、機上から撮影した映像デー
タをダウンリンクし、地上で見ることができる。山火事
や火山などの危険地域において利用できると考えられる。

6. 将来型無人ヘリコプタシステム

大型無人ヘリコプタを普及させる条件として、操作方

飛行システムの基本構想

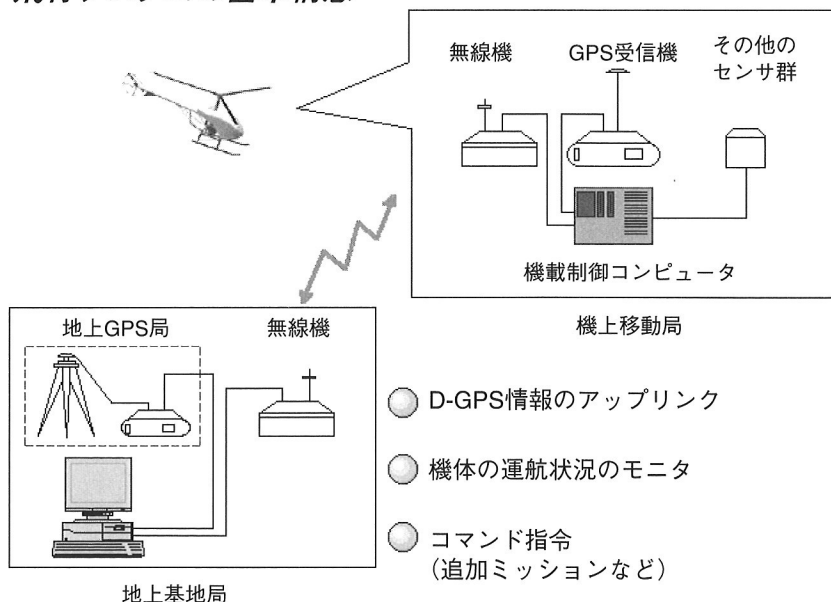


図7 将来型無人ヘリコプタシステム

法の容易化や視界外での運航の可否が挙げられる。そのためには正確な位置情報や飛行軌跡を得ることが重要な点となる。

図7に大型無人ヘリコプタの飛行制御システムの将来的な構想図を示す。単独測位方式のGPSでは位置精度の誤差が数十メートルあり、正確な位置を得ることができない。よって、地上固定局と移動局の2つのGPS局をもつディファレンシャルGPS (D-GPS) を利用することによって誤差1 m以内に抑えることが可能となる。さらに慣性航法とのハイブリッドシステムを組むことで誤差をさらに縮小することができると考えられる。

7. おわりに

これまでに全備重量100 kg以下の小型産業用無人ヘリはホビーのラジコンヘリ愛好者をベースに順調に利用範

囲を拡大させてきているが、これから大型無人ヘリコプタを普及させていくための課題としては、

- ① システム構成、運航体系を含めた安全性の確保
 - ② 高度に自動化された飛行制御システムにより容易な操縦性の達成
 - ③ 移動手段、整備点検などを考慮した簡易な取り扱いの実現
 - ④ 生産性、効率性の向上を図り、総合的なコスト低減の追及
- などが考えられる。

参考文献

- 1) 宮森・趙：大型産業用無人ヘリコプタRoboCopter 300の開発について，第35回飛行機シンポジウム講演集，pp.89-92,1997.