

衛星通信による FAZER R G2 遠距離自動飛行運用紹介

Introduction to the satellite-based long-distance, programmable-navigation operation of the FAZER R G2

森本 琢也

Abstract

Yamaha Motor developed the FAZER R G2 programmable-navigation unmanned helicopter in 2016 as a highend model industrial drone which was based on the FAZER R^[1] unmanned helicopter for agricultural chemical spraying released the same year (Fig. 1). The aforementioned FAZER R was a model which improved on the functions of the FAZER released in 2013 and featured superior payload (weight which can be carried) performance, and the recently released G2 adds programmable-navigation functions to the FAZER R.

Unlike the FAZER R, which was directly controlled by a human via a transmitter while within that person's range of sight, the added programmable-navigation functions of the G2 allow it to operate outside of the field of view simply by sending basic commands from a controller at a base station. To that end, the G2 is fitted with a transceiver to receive radio waves at long distances (several kilometers), as well as a camera and video transceiver which allow the operator to control the flight of the G2 by looking at the images it sends.

Various practical limitations have now been resolved by equipping the G2 with a satellite transceiver, which dramatically expands the range in which it can be flown (Fig. 2). As a result, it is now possible to take full advantage of the intrinsic payload capabilities of the G2 alongside its potential in areas such as upwind performance. This report describes development of the functions of the G2, which is based on satellite communication enabling long-distance, programmable-navigation operation, and provides examples of its operation.

1 はじめに

ヤマハ発動機では、2016 年発売の農薬散布用無人ヘリコプター FAZER R^[1] をベースとした産業用ドローンのハイエンドモデルとなる自動航行型無人ヘリコプター FAZER R G2 を同年開発した（図 1）。ベースとした FAZER R は、2013 年発売の FAZER に機能改良を加え、ペイロード性能（搭載可能な荷物の重量）を向上させたモデルで、今回開発した G2 はこの FAZER R に自動航行機能を追加したモデルである。

FAZER R が目視範囲内で人間が直接見ながら送信機によって操縦するのに対して、G2 は自動飛行機能を備えたことで目視外でも運用が可能であり、基地局のコントローラーから簡単な命令を送るだけで操作が可能になっている。そのため G2 は、遠距離（数 km）まで電波が届く通信機と、操作者が飛行している G2 からの映像を見るためのカメラ装置および映像送信用の通信機を搭載している。

今回、G2 に衛星通信機を搭載したことによりさまざまな運用制限がなくなり、飛躍的に飛行可能範囲が拡大した（図 2）。そのため、G2 の本来のペイロード能力や対風速性能等のポテンシャルを最大限に生かせるようになった。ここでは、遠距離自動飛行運用を可能にした衛星通信による G2 の機能開発と運用事例について紹介する。

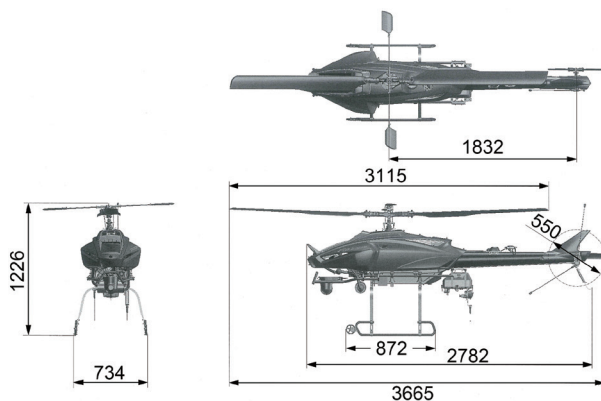


図1 FAZER R G2 三面図



図2 衛星通信機を搭載したFAZER R G2

2 G2開発の背景

2-1. 次期自動航行モデルへの要求

自動航行用機能開発は、1997年に開発した前農薬散布モデルである RMAX の商品化直後から行っており、2000年に北海道有珠山観測を実施して以来、開発を本格化させた。

2006年には、RMAXに自動航行機能を追加し信頼性を向上させた RMAX G1^[2]（以下、G1）を開発した。G1は、今日まで、桜島、新燃岳、三宅島、伊豆大島、口永良部島、西之島等の人の立ち入りが禁止されている火山での観測業務（地震計の設置・回収、空中磁気計測、火山ガス計測等）や、放射線計測業務、レーザープロファイラーによる3次元地図作成等の運用で使用され、延べ3000時間以上の運用を行ってきた。

ここ数年、無人航空機（通称ドローン）がニュースなどで頻繁に話題に上るようになり、実際の運用でも台頭してきている。そのような中、信頼性が高く運用実績のあるG1の後継機種には、小型のドローンにはできないようなペイロード能力と、飛行性能（対風速性能や飛行可能距離および高度）の向上が望まれていた。

3 開発の取り組み

当社では、2015年のFAZER開発終了とともに、自動航行機能を有したG2の開発を開始した。以下に、G2の能力向上の取り組みについて説明する。

3-1. ペイロード能力・飛行性能向上

開発当初、次期自動航行モデルの開発のベースとする機体を2016年に発売予定のFAZER Rにすることで、ペイロード能力と飛行性能についてはG1より格段に向上することが期待できた。G2では、さらに自動航行を実現するために追加で装備する様々なセンサーや装置等の軽量化に取り組み、FAZER Rのペイロード能力をできるだけ落とさないようにした。具体的には、小型のカメラ装置の採用や通信機、制御装置を内蔵する自動航行機能用装置の軽量化等を行った。また、FAZER R自身が内蔵するセンサーを有効利用することで、自動航行用機能として追加する装置を少なくするなどした。

こうした軽量化の取り組みにより、G1のペイロード能力10kgに対して、G2ではFAZER Rのペイロード性能を大きく落とすことなく、飛行可能時間を増やしながらペイロード

能力35kgを達成した（表1）。

表1 G2/G1 主要諸元

性能項目	G2	G1
重量	79.5kg	83.2kg
ペイロード (1気圧、気温20℃時)	35kg (燃料6L時)	10kg
運用高度	2800m (燃料6L時)	1000m
飛行距離	90km	3km
飛行時間	100分	80分

3-2. 飛行可能距離の拡大

小型のドローンが社会に認知されるようになりつつあった数年前では、無人航空機と無線通信のリンク（機体と地上操縦局の双方向通信の確立）がない状態でもプログラム飛行等により自動航行可能なものが多かった。当社では、G2を含む自動航行用無人ヘリコプターの設計コンセプトとして、無線操縦のときだけでなくプログラミング飛行等で自動航行する際においても、無線通信のリンクが常時確保されている状態でいつでも基地局からの操作命令が伝わるときのみ運行が可能な設計仕様になっている。これは、今後の社会情勢、国際法等の整備状況を鑑み、無人航空機を飛行させる際は必ず無線通信のリンクが必要になってくるという判断であった。そのため、G2の飛行可能範囲を広げるためには、まず、無線通信の到達範囲を広げるという取り組みが必要になった。

G2を自動航行させるための無線通信には、制御用のデータ通信と、搭載するカメラ装置の映像を送信する映像送信の2つがある。特に、映像の送信には、広い帯域の電波帯が必要であり、ヘリコプターのような移動体に搭載することを考えると受信性能の良い電波帯であることが重要である。

現在の日本においてデータ通信、映像通信をするために簡易な免許で利用可能な電波帯には、429MHz、930MHz、1.2GHz、2.4GHz、5.7GHzがある。移動体で使用するには電波の回り込み（回折）が期待でき、指向性が少なく受信しやすい周波数の低いものが望ましい。さらに、映像通信を行うとなると十分な通信帯域を備えた特性が要求される。しかし、これらの電波帯は日本の電波法では規制上遠くまで飛行させるには十分な出力でないものが多い。テスト結果においても、電波到達距離が数km台、遠くまで届いても10km未満というもので、データ通信と映像送信を同時に行おうとすると使用可能な通信装置がないのが現実であった。また、実際の運用では地表面に設置した基地局から電波を発射する場合が多く、飛行距離が約10kmを超えると飛行高度が

低い場合には電波の到達が不可能になり、通信できないという深刻な問題もあった。

ヤマハ発動機では、2015 年よりこれらの問題を一気に解決し長距離通信を実現するため、衛星通信機を搭載しインターネットを介して通信するというテストを開始した。衛星通信による飛行が実現すれば、通信衛星が見える上空が開けた環境であれば、地球上のどこでも飛行が可能になる。さらに、長距離飛行はもちろん、遠くて飛行高度が低い場合や、火山の裏側等の見通しのきかない場所でも飛行が可能になる（図 3）。

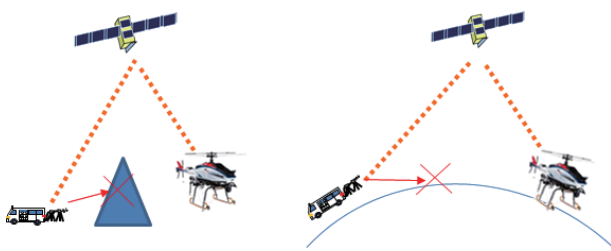


図3 直接通信 vs 衛星通信

3-3. 衛星通信機の種類

日本において商用利用できる衛星通信機は、G2 に搭載可能な機材の大きさのものとしては数種類ある。中でも、機体から映像送信が可能で十分な通信帯域が確保できる L-band 帯（1GHz 帯で、広い通信帯域と無人航空機に搭載した場合に適度な電波の回折が期待でき、受信性能が良いという特徴がある。）を使用したインマルサット静止衛星通信サービスが最適であると判断し採用した（表 2）。

表2 衛星通信比較

サービス名	ワイドスター II	イリジウム	インマルサット
事業者	NTT ドコモ	イリジウムコミュニケーション	インマルサット
提供	日本のみ	世界	世界
衛星区分	静止衛星	移動衛星	静止衛星
サービス	音声+データ通信	音声+データ通信	音声+データ通信
帯域	狭い	狭い	広い
端末	少ない	多数	多数

音声通話サービスが中心

4 開発時の問題点

4-1. 衛星通信機をG2に搭載した場合の問題点

インマルサット通信衛星（事業者：インマルサット社、1979 年に設立された国際機関である国際海事衛星機構が

前身で、海上の安全を確保するため静止衛星を利用したサービスを行っている。）は遠く離れた赤道上空約 36,000km にある静止衛星を使用した通信サービスであるため、開発途中では大きく3つの衛星通信特有の問題点が発生し、解決しなければならなかった。

第一に、衛星との通信には遅延と伝送遅延の変動（揺らぎ）が大きく、通信が全くできないという問題があった。これについては通信事業者の協力のもとでテストを行い、IP パケット（ネットワークで伝達するためのデータの固まり）化して通信する際に、その影響が最小限になるような送信方法の採用と機器の選定や設定を行った（図 4）。



図4 航空機用衛星通信機とFAZERとの通信テスト(初期)

第二に、アンテナの追尾に特徴があり、衛星通信との接続がうまくいかないという問題があった。高速なデータ通信を安定的に行うために、飛行中は機首方位や姿勢の変化、機体の移動に合わせて正確に通信衛星にアンテナを向ける（追尾）必要がある。衛星通信機には、機種ごとにそれぞれ通信衛星を追尾する方法が異なるため、まず、その方法を熟知することから始めた。追尾方法を把握した後、衛星との通信品質に問題が出ないアンテナ配置を念入りに検討した。特に飛行中は金属部であるメインローターヘッドや、姿勢の安定のために取り付けられているスタビライザーバーの影響が顕著に表れた。そこで、基本的に金属部から遠ざける方法をとった。

第三に、衛星通信の電波出力が強大であり、GNSS レシーバー（GPS のような測位衛星システム用受信機）が強力な電波の影響を受け、使用できなくなるという問題が発生した。これは、飛行中に機体が動くことでアンテナも動き、電波が機体のあらゆる方向に発射されることが要因と考えられた。そのため、G2 に2つ搭載している GNSS アンテナを前後に離し、衛星通信アンテナから遠ざけながら分散して配置

するなどの対策をした。また、衛星通信電波の影響が出にくい GNSS アンテナの採用やバンドリジェクトフィルタなどを用い、強力な電波の影響をできるだけ受けないようにした。

4-2. 映像送信技術の課題

衛星通信を使用した通信は全てインターネットを介して行われるため、データ通信も映像送信もすべて IP パケットデータに変換する必要がある。中でも、G2 のカメラ装置から送信される、HD-SDI の映像データ（フル HD 映像）をインマルサット通信衛星の狭い通信帯域でも送信できるよう強力な映像圧縮装置が必要になった。今回 G2 で採用した映像圧縮装置は G2 専用に専門メーカーと開発しており、衛星通信の遅延や揺らぎの影響下でも安定して映像の送信が可能である。現在は、さらなる映像品質向上のため、映像圧縮専用コーデックの開発や高精彩な静止画送信機能の追加などを映像圧縮装置メーカーと取り組んでいる最中である（図 5）。

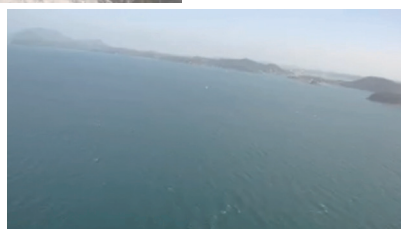


図5 実証テスト時 衛星通信による映像送信

5 実証テスト（物資運搬とIoT）

2016 年秋には、すべての課題を克服し、衛星通信を使用した G2 の飛行が可能になった。G2 の最初の長距離飛行テストとして、沖縄県八重山諸島の離島間を飛行させた。安全にテストを行うため、直線距離を長くすることができなかったが、一回の飛行距離が 30km を超える長距離飛行テストを行った（図 6）。また、当社に基地局を設置し、1700km 以上離れた場所から G2 を離陸させたのち広範囲を飛行させるなどのテストを行った（図 7）。いずれのテストも、衛星通信ならではの通信能力を生かし、G2 が広大なエリアで飛行可能になることが実証できた。

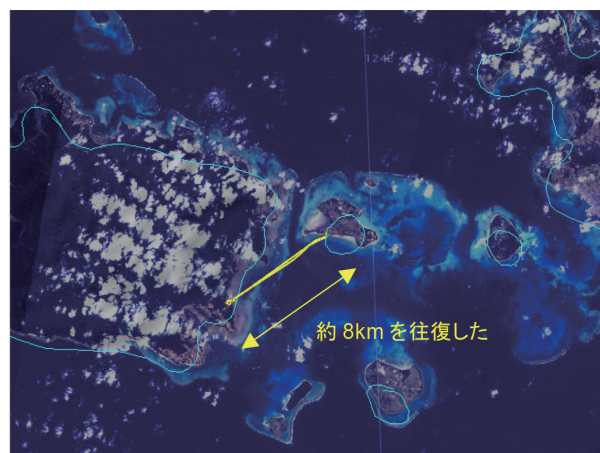


図6 離島間飛行の軌跡

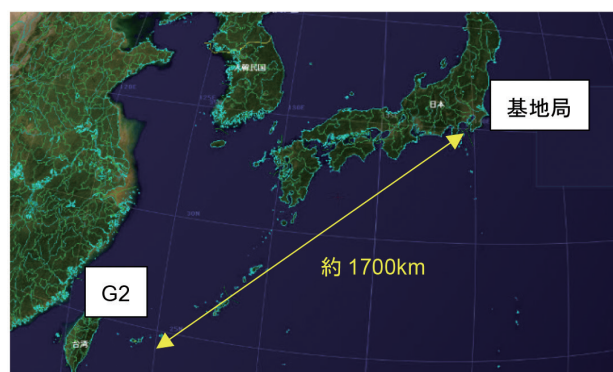


図7 1700km離れた遠隔操縦

2017 年初めには、民間団体主催の実証試験に参加した。この実験は、将来の運用用途を想定し、発電機（ヤマハモーターパワープロダクツ社製 EF900iS、約 15kg）を G2 に搭載し、インフラが断絶した災害地などへ電気を速やかに届けることが可能であるかを検証するための試験飛行である。操作する基地局は当社 東京事務所に置き、G2 を飛行させる場所は福島県浪江町（現在、無人航空機実証試験の特区として利用されている地域。）とした。遠隔地から自動航行による飛行を行うのはもちろん、飛行している状態（位置、速度などの飛行情報）と G2 に搭載したカメラの映像を基地局以外の第三の場所に転送するなどし、将来あり得る運用に近い形で試験を行った。

実証試験時は、風速 10m 以上の強風であったが、G2 のすぐれた対風速性能を生かし終始安定した飛行が行えた（図 8）。一般的に映像を送信しながらリアルタイムに操縦可能とする衛星通信機器は、合計 10kg 近い装備になる。そのため、衛星通信による遠距離自動飛行は、通信機を搭載してもなお十分なペイロード能力、対風速性能を有する G2 のような高ペイロード UAV（Unmanned aerial vehicle）のみが利用可能な技術である（図 9）。



図8 強風下、実証テストのため待機中のG2



図9 衛星通信機を搭載した場合のペイロード比較

G2 が現地に着陸した後は、搭載した衛星通信機はそのまま衛星電話・FAX・インターネット環境として使用可能で、災害時の連絡手段確保にも利用できる。G2 は、衛星通信によりインターネットにつながったことで、広大な活動範囲と可能性を手に入れた (図 10)。

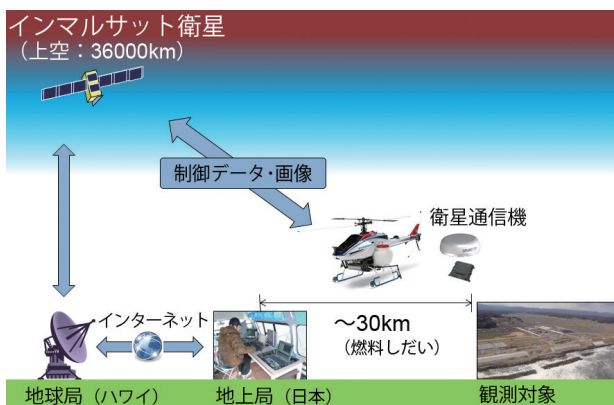


図10 衛星通信の仕組み

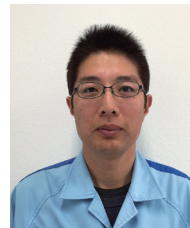
6 おわりに

G2 に衛星通信機を搭載したことにより、従来方式である直接通信による運用の制限を取り払い、格段に飛行範囲を広げ、G2 のポテンシャルを飛躍的に向上させることが可能になった。この G2 が、火山噴火、地震、洪水等の甚大な災害が起きた時に、情報収集、機材運搬、連絡手段確保等で利用され、社会の役に立てればと思う。今後、さらに活躍の場を広げられるよう、継続的に飛行能力向上のための開発に取り組んでいきたい。

■参考文献

- [1] 技報 No.52 製品紹介 大容量 32L の薬剤搭載を実現した産業用無人ヘリコプター FAZER R
- [2] 技報 No.46 技術紹介 産業用無人ヘリコプターによる計測技術の紹介

■著者



森本 琢也

Takuya Morimoto
ビークル&ソリューション事業本部
UMS事業推進部
開発部