



# 産業用無人ヘリコプターによる計測技術の紹介

Observation/measurement technology for utility-use unmanned helicopters

鈴木弘人 森下達也 窪野琢也

## Abstract

Yamaha Motor's RMAX utility-use unmanned helicopter is used for the crop dusting of rice paddies and there are presently more than 1,500 RMAX helicopters in use in Japan's agriculture industry.

Ever since an RMAX outfitted for autonomous flight was used for surveillance/observation over Hokkaido's Mt. Usu volcano during its 2000 eruption, development has continued for new uses outside of the agricultural field. The model primarily used for these non-agricultural uses is the "Autonomous Flight Type RMAX G1 (Fig. 1). In this report we introduce observation/measurement technology recently developed for this model.

## 1 はじめに

産業用無人ヘリコプター RMAX (以下 RMAX) は主に水稻の薬剂散布を行う目的で使用され、現在では 1,500 機を超える RMAX が日本国内の農業用機材として運用されている。

また、2000 年に自律航行型 RMAX で北海道有珠山観測を実施して以来、農業分野以外での用途開発が進んでいる。現在この領域では主に「自律航行型 RMAX G1」(図 1) を用いており、今回は本機を用いた計測技術について紹介する。



図 1 RMAX G1  
Fig1. The RMAX G1

## 2 無人ヘリコプターの用途開発

RMAX G1は、限界積載重量範囲内であれば、ヘリコプター運航機器への影響が無い限りどんな機材でも搭載することができる。すなわち、「無人ヘリコプターは荷物運搬用のプラットフォームである。」という考え方が基本である。しかし、用途は多種多様、ある意味無限である。

当社では、過去の運用経験から用途を絞り込み、顧客の要望に即応できる機材を開発した。

それらの用途は大別して2つある。ひとつは動画を地上ヘリアルタイムで伝送する監視・調査用途である。これには昼間夜用2種類のカメラシステムが準備されている。もうひとつは計測用途の機材であり、静止画撮影装置と3次元マッピングシステムの2種類で構成され、主として土木建設分野で用いられる。(図2)。

今回はこの中から、3次元マッピングシステムを使った計測技術について紹介する。

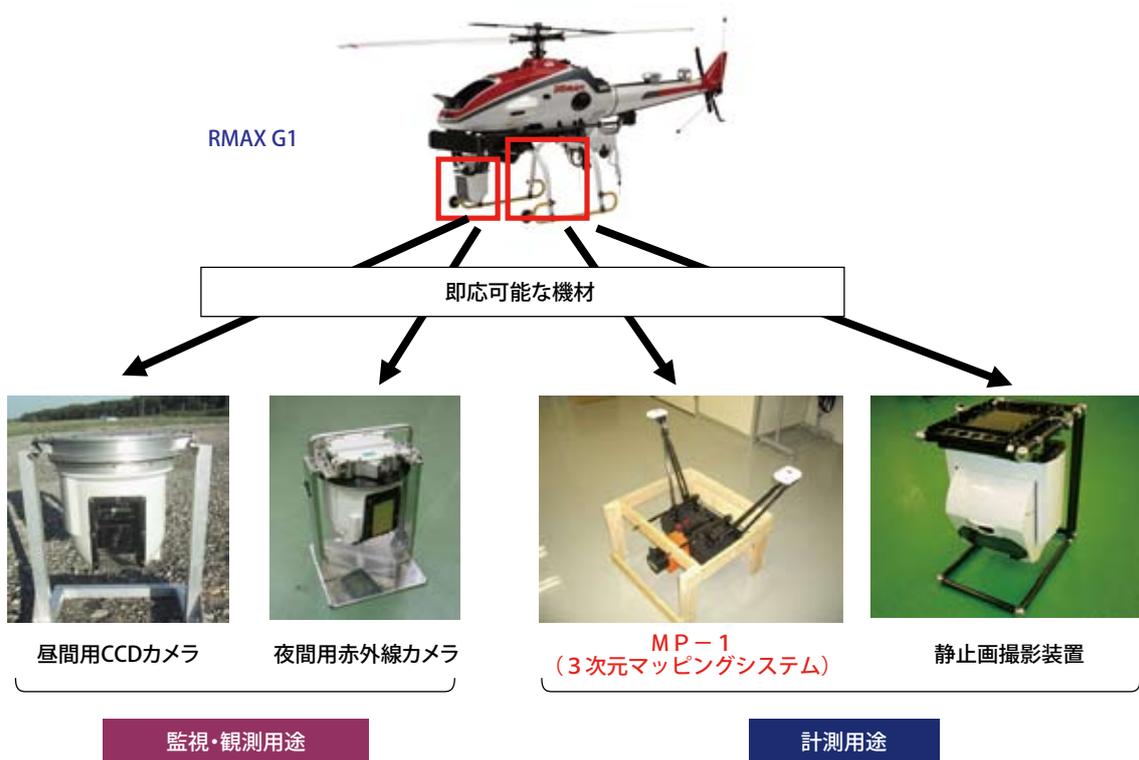


図2 RMAX G1用搭載機材

## 3 運用機材の構成

### 3.1 自律航行型RMAX G1

計測に使用する機体は、「自律航行型RMAX G1」(以下、RMAX G1)である。ヘリコプターの運航システムはヘリコプターと地上局、アンテナシステムから構成され、通常、自律航行用のオペレータ、計測器のオペレータおよび離着陸を手動で行うオペレータの合計3名で運用するが、実際の土木建設分野の業務

においては、それに安全運航管理者の1名を加えて合計4名で運用する場合が多い。

運用機材と要員の配置図を図3に、機体の諸元を図4に示す。

計測器へはヘリコプターより12V電源が供給されるので、計測器にはバッテリー等の電源は搭載されない。

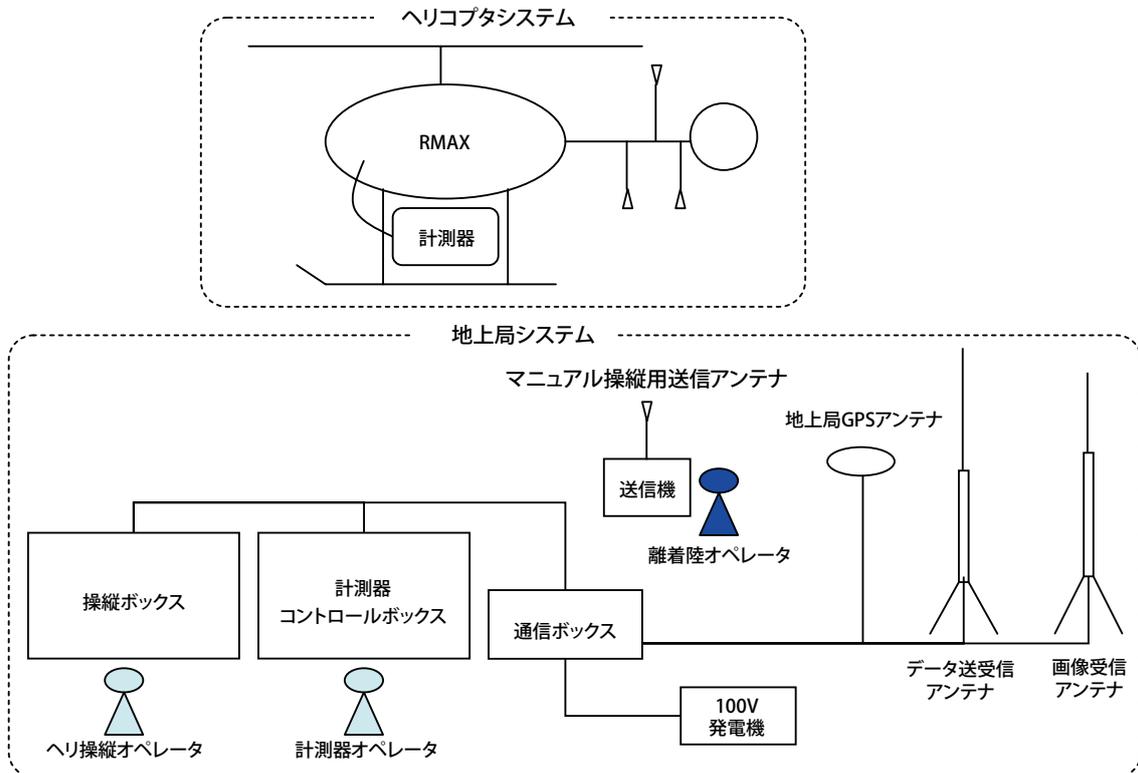


図3 ヘリコプター運航システム配置図

主要諸元・性能	
最大離陸重量：	94kg (気温20℃ 1気圧 燃料込み)
ペイロード：	10kg (標高0m、気温20℃)
最高速度：	72km/h
燃料タンク容量：	11L
飛行時間：	90分以上
飛行制限：	雨量 2mm/hr以下 地上風速10m/s以下
運用人員：	3名

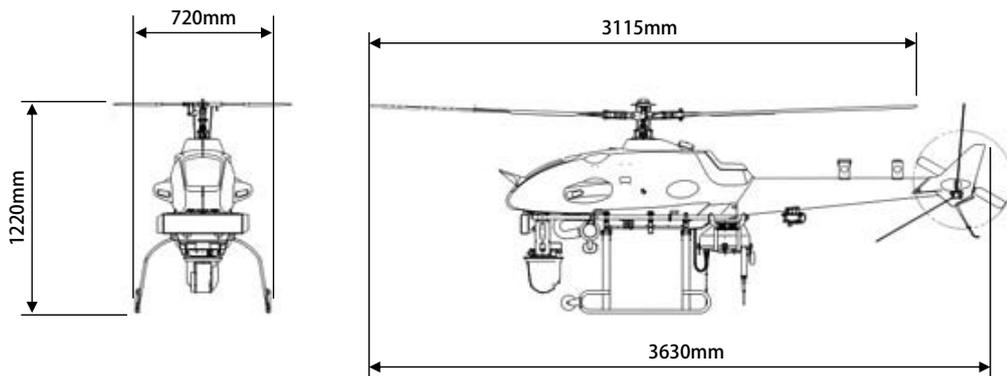
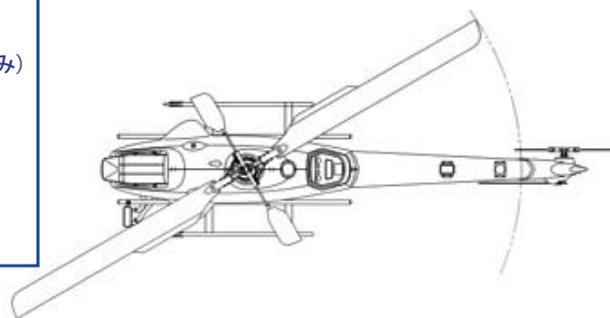


図4 RMAX G1 主要諸元

### 3.2 3次元マッピングシステム(スカイアイズ社製 MP-1)

3次元地形計測には、米国スカイアイズ社製MP-1を使用している。

本品はRMAX専用開発した地形形状計測システムであり、GPSと慣性計測装置(IMU)を使ったレーザー計測装置である。地形データは点データ(緯度、経度、標高)で表現される。

計測手法としては、航空測量では一般的なものであるが、有人機と比較して積載能力の低いRMAXに搭載するために小型軽量化され、かつRMAX G1地上局システムとのコミュニケーション機能を有した専用品となっている。

外観形状を図5に主要性能を図6に示す。

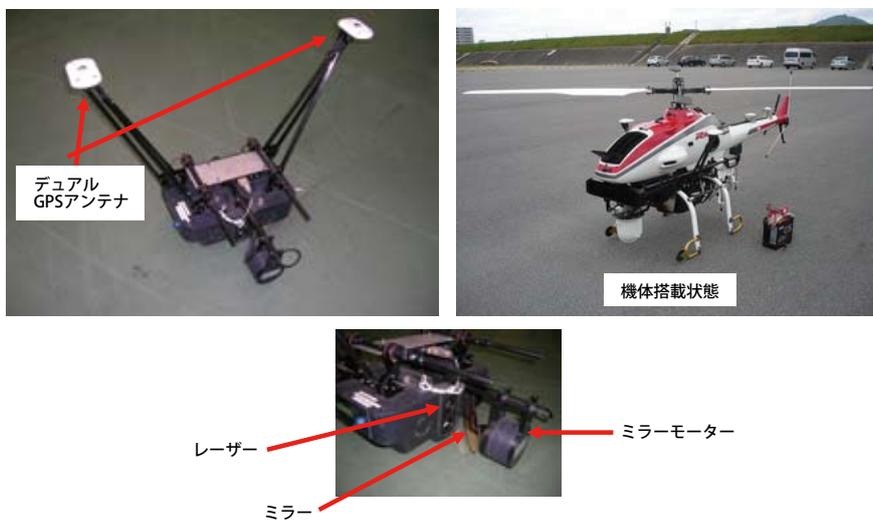


図5 スカイアイズ社製3次元マッピングシステムMP-1

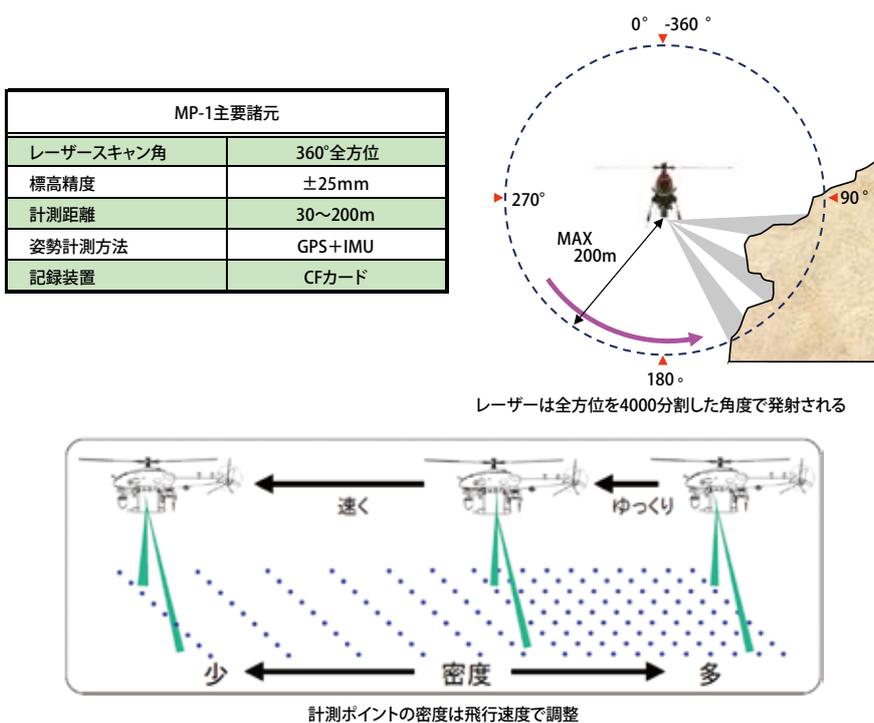


図6 MP-1 主要諸元

## 4 RMAX G1による3次元地形計測の実際

### 4.1 無人ヘリコプターの特性を活かした計測飛行

レーザーを使った航空測量は主に有人機で行われている既知の技術であり、土木建設分野では地上測量とともに広く普及している。こうした環境下、我々は無人ヘリコプターとスカイアイズ社のMP-1を組み合わせることで、今まで有人機や地上からでは計測困難であったり、効率が悪かったりする領域の計測を可能にした。

ここで無人ヘリ計測のメリットについて説明する。

ひとつは、飛行制限に対する柔軟性である。RMAX G1は航空機のカテゴリーに属さないため、飛行ルート、離着陸場所等について、一部航空管制域を除いてほとんど制約を受けない。特に最低飛行高度の制約を受けないため雲の影響等視界に関する制約を受けにくく、飛行計画時刻も自由に選定できる。ただし、飛行に関する運航規則については日本産業用無人航空機協会(JUAV)の基準に従っている。

次に、火山や災害地等の危険地域での飛行が可能であることが挙げられる。無人という利点を生かし、人が入れない場所や有人機の飛行禁止エリアにも入り込めることが多い。

最後は、自律航行飛行最大の利点である飛行経路の再現性である。一度飛んだ飛行経路は地上局側パソコンに保存され、いつでも再利用することが可能であり、経年変化のある地形形状の定期計測等で有効である。

一方で、飛行範囲では有人機には及ばず、また、地上測量ほどの計測精度に達していない等の課題はのこされているが、現状のメリットを最大限に活かした運用を行っている。

### 4.2 山岳飛行の必要性

以前技報第39号で紹介した前モデル「自律航行型RMAX GO-1」は、平地での運用を前提としたシステムであった。最近では災害地や火山での運用が多いことや、3次元マッピングのデータ取得精度を均一にするため運用時に地表面からの離隔距離を維持することが必要とされており、起伏の激しい地形形状の中を安全且つ効率的に飛行することが要求されている。また、山岳地帯の風況は地上では想定できない気流条件も発生し、とくに垂直方向に変動する風速はRMAXのような小型ヘリの推力に大きく影響する。

これら、運用面での課題について対応策を検討、実施した。

#### 4-2-1 可視外飛行時の余裕ペイロードの把握

農業分野で運用するRMAXでは、操縦者が目視内でヘリコプターを操縦するため、エンジンの回転状態や風に対する挙動は直接に把握できる。従って操縦者は無理な飛行条件を察知した場合、即時に着陸することで危険を回避することが可能である。しかし、RMAX G1では操縦者の視界から離れ、特に風況の予測が不可能な山岳地帯で運用する機会が多く、即時に着陸させることは不可能である。山岳地帯特有の上昇下降気流は直接メインロータの推力に大きな影響を及ぼす。また、標高が高くなるに従い空

気密度が減少し、エンジンのパワーダウンと空力的効率ダウンの両面から飛行維持が困難な状況に陥ってしまう。従ってこうした状況を早期に察知し、早期に回避行動をとる必要がある。

この課題を解決するため、操縦ディスプレイ上にエンジン出力を表示し、出力が最大値の80%を超えると警告音を発することとした。この表示はテストベンチで計測されたエンジン出力特性を、スロットル開度と回転数から算出するものである。実際の飛行では、この出力値と同様に、ディスプレイ上の水平儀の揺れから風の乱れ具合を予測し、飛行続行可否判断を自動的に下している。(図7)警告音が発せられる頻度と揺れでの飛行続行可否判断のガイドラインは、あらゆる条件を想定したペイロードテスト結果をもとに定めている。

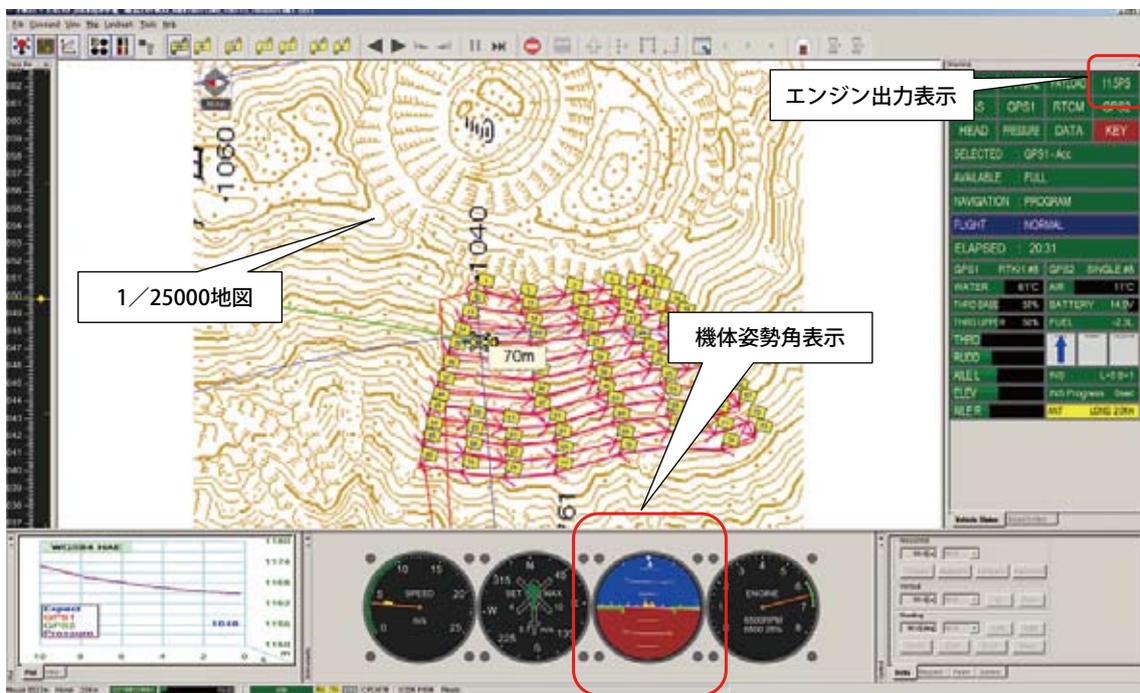


図7 自律航行用ディスプレイ

#### 4-2-3 3次元飛行プログラムと対地高度把握

過去の自律機では2次元地図上に飛行プログラムを作成し、実際の飛行中の衝突回避は機体前方に設置したビデオカメラ映像でのみ行われてきた。

しかし、これだけの情報では可視外における山の斜面近くの飛行は不可能と判断し、標準のRMAX G1に2つの機能を追加付与することで、この問題を解決した。

ひとつは、3次元飛行プログラムの導入であり、スカイアイズ社が開発したGPWSシステム (Ground Proximity Warning System = 対地接近警報装置) である。これをRMAX G1地上局システムに連結して運用している。このシステムは3次元地図上に飛行ルートを設定することができ、飛行中はヘリコプターからもっとも近い地表面が棒線と数値で表示される。3次元地図は、多くの場合業務発注元から提供されるDEM (数値標高モデル = Digital Elevation Model) をインポートして作成する。この

データが入手できない場合は、国土地理院が提供している基盤地図情報から3次元地図を作成する方法、あるいは、安全高度による現地での大まかな計測飛行をして3次元地図を作成する方法もある。(図8)

もうひとつは、直接対地高度を計測するレーザー距離計の装着である。(図9)

先に書いたGPWSディスプレイ上に表示される計算値とレーザー距離計による実測値を比較してDEMで与えられた地形形状の信憑性を確認しながら飛行することにした。計算値と実測値に大きな食い違いを見せる場合は飛行中に一旦プログラム飛行を中断し、機上のカメラ等で安全を確認する。場合によってはルート変更したプログラムに書き換える。

以上の2つの機能追加により、運航中のオペレータの不安は減少し、安心した飛行が可能となった。

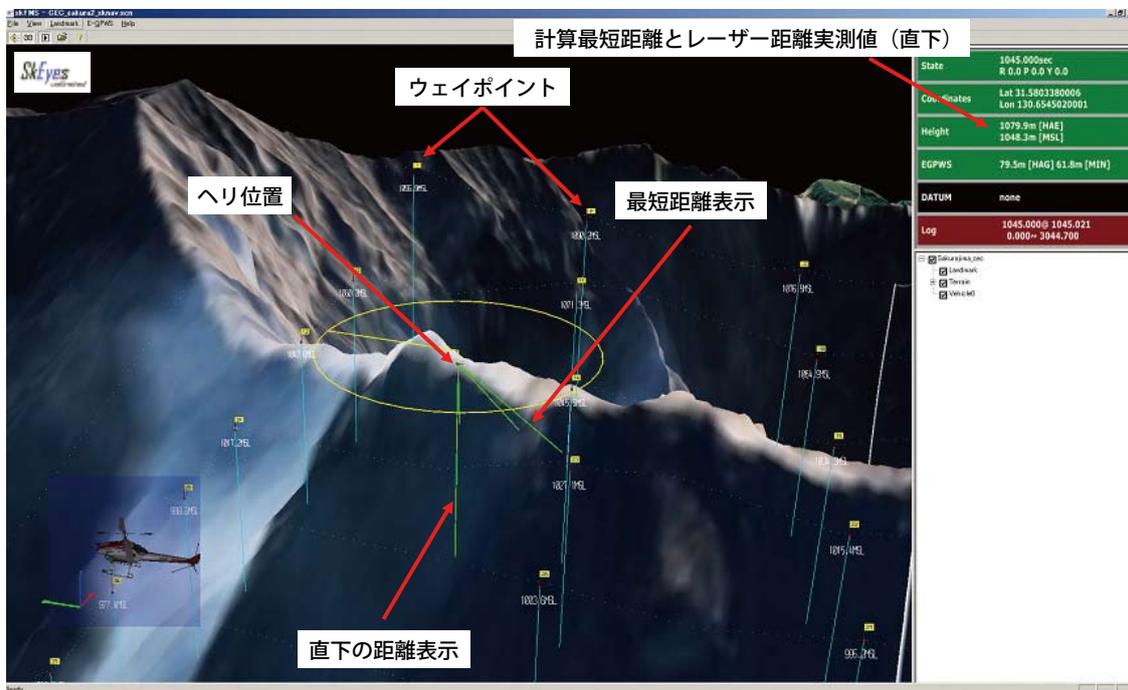


図8 スカイアイズ社製3次元飛行プログラム



図9 山岳飛行用対地レーザー距離計

#### 4-2-4 フライトシミュレータを使った飛行計画

過去において、飛行ルートの計画は、2次元地図と地上からの現地調査で得た情報から策定し、詳細は現地でテスト飛行しながら決定していた。このため実際の計測飛行に至るまでに時間と労力を費やし、非効率的なものであった。これに対し4-2-3で説明したシステムでは、計測前にオフィス内で飛行プログラムを作成し、その後自社製のフライトシミュレータを用いて、地上局からの見通し状況、飛行時間、離着陸ルート確認を行い飛行計画を作成する手順となる。(図10)これにより、現場での作業時間は大幅に短縮され、本システム導入以前から半減した。



図10 シミュレータによる飛行計画の作成

#### 4-3 GPS地上局の選択

計測に使用する地上局基準点のGPSは、全国1,200点あると言われる電子基準点を用いる方法とMP-1の地上局でRTK(リアルタイムキネマティック)方式を組む方法と2種類から選択する。

電子基準点を選択した場合、GPSの位置測定精度を上げるためのデータ補正作業はポストプロセス(後処理)となり、計測後にオフィスに戻ってから最終成果品に仕上げる。メリットとしては地上局側のGPS計測をしなくて良いため現地での基準点GPS関連機器を省略できる。また、現地基地局GPSの衛星捕捉状態を気にしなくても良いことが挙げられる。デメリットとして、現場で成果品の精度の確認ができないことが挙げられる。

一方、RTK方式では基準点用GPS機材を展開して計測する。メリットとして現地で成果品レベルのデータを作成出来ることがある。デメリットとしては、地上局周囲に障害物が多い場合、衛星捕捉状況が悪いことが挙げられる。(図11)

我々は、現地地上局環境に応じて2種類のを使い分けている。



図11 地上局計測用GPS

## 5 計測例

ここまで説明した飛行システムを用いて実際に行った運用例を紹介する。

本業務は、2010年1月鹿児島県桜島で行った3次元地形計測である。

(データ提供:中電技術コンサルタント株式会社)

このミッションでは、発注元から支給されたDEM(有人機によって10m×10mに1ポイント計測したデータ)から3次元地図を作成し事前にシミュレータを使って、計測飛行ルートの作成、その計測場所への移動を含めた全体飛行計画を立てた。(図12)

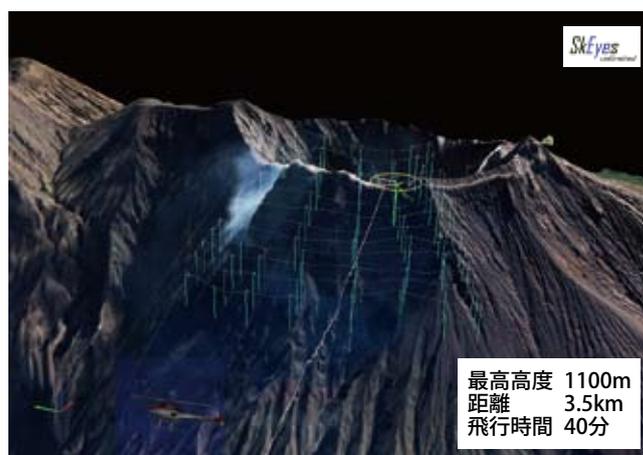


図12 3次元プログラムを用いた桜島飛行計画

現地では地上局を設置した後、計測器を搭載しない身軽な状態で一回計測ポイントへ行き、風の状況を確認した後計測器を搭載して計測を実施した。

現地の地上局の様子を図13に、地上局から計測場所を見た景色を図14に示す。

実際の飛行している時のオペレータの様子を図15に、機上からのビデオ映像を図16に、取得した地形データを図17に示す。離着陸は専門のオペレータが手動で行っている。自律航行型オペレータは、飛行プログラム実行中運航状況を確認する。ヘリコプターの姿勢変化と利用エンジンパワー、電波状況等を確認することが主な仕事である。何も起きなければ平穏であるが、緊急時の対応方法を常に頭に入れておく必要があるので、精神的負担は大きい。自律航行型オペレーターはヘリコプターを操縦するというよりはむしろ運航を管理するといった仕事为主である。



図13 桜島における基地局



図14 基地局から見た計測場所



図15 基地局車内のオペレーションの様子



図16 機上カメラからの映像

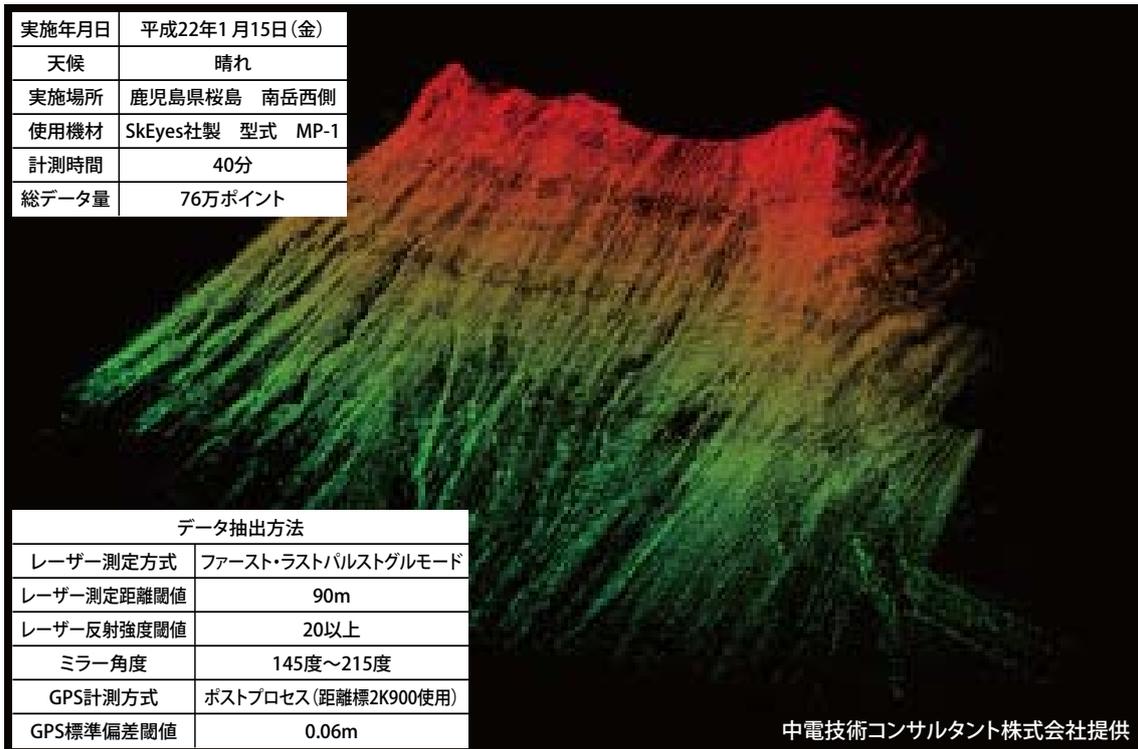


図 17 計測データ

## 6 まとめ

RMAX G1の用途は、無人航空機としての有効性を発揮できるゆえ火山や山岳地帯、災害地等飛行環境の厳しい場所での運用例が多く、こうした環境下で安全に飛行できることが要求される。

今後もRMAX G1をベースに安全飛行のための機器開発および運用方法の改善を続け、色々な場面で役立つ機材として育てていきたい。

### ■著者



鈴木 弘人  
Hiroto Suzuki

事業推進統括部  
スカイ事業推進部  
マーケティング推進グループ



森下 達也  
Tatsuya Morishita

事業推進統括部  
スカイ事業推進部  
マーケティング推進グループ



窪野 琢也  
Takuya Kubono

事業推進統括部  
スカイ事業推進部  
マーケティング推進グループ