

# PS-3 小型無人航空機のシミュレーション技術

航空交通管理領域 \* 虎谷 大地、平林 博子 監視通信領域 河村 暁子

## 1. はじめに

近年、ドローンとも呼ばれる小型無人航空機 (sUAS: small unmanned aircraft system) の利用が急速に広がり、それに伴って非管制空域のような低高度空域での、安全な運用に関する問題が発生している。実際、sUAS の墜落報告や、ヘリコプタのような有視界飛行方式 (VFR: visual flight rules) で飛行する航空機とのニアミスが報告されている<sup>1)</sup>。これらの問題を解決するため、sUAS と VFR 機が安全に飛行するための仕組みが必要とされている。

現在、sUAS が安全に飛行するための運用コンセプトに関する研究が、世界中で進められている。中でも代表的なものが、米国の NASA が提唱した UTM (UAS traffic management) である<sup>2)</sup>。UTM とは低高度空域を飛行する、sUAS を含む航空機の位置情報の共有や、飛行情報の提供等を行う、交通管理システムである。NASA はこの UTM コンセプトを確立するため、様々な実験とシミュレーションによる研究を行っている。

sUAS の運用コンセプトのような、新たな概念、特に安全性やコストの観点から実験が困難な概念の研究開発のためには、シミュレーション技術によるサポートが必要不可欠である。そのため本研究では、将来の sUAS 運用に関する、様々な要素をシミュレーションすることを目的とする。特に本稿では、sUAS の飛行軌道と電波による信号伝搬の連成シミュレーション技術について述べる。信号伝搬は sUAS の安全な運用に必要な不可欠な無線通信に関する要素であるため、信号伝搬に関するシミュレーションは、将来の sUAS 運用コンセプトを検討するうえで、非常に重要な技術であるといえる。

## 2. 研究概要

### 2.1 sUAS のための無線通信と飛行軌道シミュレーション

UTM の実現には、sUAS の位置情報の一元的な管理が必要となってくる。包括的な sUAS の位置情報の取得には様々な方式が提案されており、現在ほどの方式がよいかを議論している段階であるが、そのひとつとして ADS-B (automatic dependent surveillance-broadcast) が挙げられる。ADS-B とは航空機が GPS 等から取得した位置情報を、放送型データリンクにより送信するものである。ADS-B は sUAS の位置情報の一元管理に適していると言えるが、将来、sUAS の数が増え、狭いエリアで複数の sUAS が信号を発すると、干渉により sUAS の位置が把握できなくなる可能性がある。そのため、ADS-B を搭載した sUAS が飛行したときの電波環境のシミュレーションを行うことは、UTM のコンセプトを検討するうえで有効であると考えられる。

また sUAS は従来の航空機とは異なり、固定翼機やヘリコプタ、複数のプロペラをもつマルチコプタといった様々な機

種の航空機が同一の空域を飛行し、さらにその飛行は、飛行場のない場所からでも離着陸可能、事前の飛行計画等によらずに飛行可能といった特徴を有している。そのため、従来の航空機と比べて、sUAS の飛行軌道は非常に多様性に富んだものとなり、その軌道の多様性が信号伝搬に与える影響を評価する必要がある。そこで本研究では、sUAS の軌道と信号伝搬の連成シミュレーションを行う。

今回は ADS-B に注目しているが、軌道と信号伝搬の連成シミュレーションは、sUAS を制御するための通信、いわゆるコマンドコントロールの検討にも応用可能である。

### 2.2 sUAS 用の ADS-B

ADS-B を sUAS の運用に実装するには、その方式にいくつかの選択肢が存在するが、本稿では図-1 に示すような実装方式を想定する。この方式では、sUAS は受信機能のない ADS-B Out のみを装備していると仮定する。地上の受信局は ADS-B Out の信号を受信することで、周辺を飛行する sUAS の位置情報等を取得することができる。このとき、sUAS を操縦するオペレータは、受信局から得られる周辺の sUAS の情報にもとづいて、自機と他機の安全な間隔を保つことができる。仮に受信局の周辺に多数の sUAS が飛行していた場合、互いの電波が干渉しあい、受信局が ADS-B 信号を解読できない可能性がある。sUAS の軌道と電波による信号伝搬の連成シミュレーションを行うことで、sUAS の飛行が ADS-B の無線通信に与える影響を評価する技術を確立する。

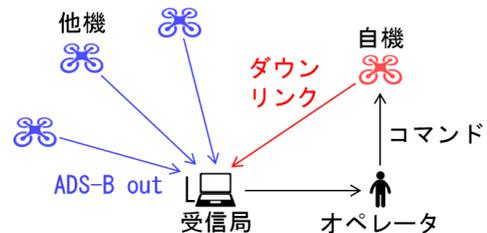


図-1 ADS-B の実装方式

## 3. シミュレーション手法

### 3.1 軌道シミュレーション

本シミュレーションでは、クワッドコプタ型の sUAS を想定する。クワッドコプタは質点モデルとして近似して表現される。また、実際のクワッドコプタの飛行を模擬するため、クワッドコプタはウェイポイントと飛行速度で構成される、ミッションプランに従って飛行するものとする。図-2 に軌道シミュレーションの例を示す。この例では空撮等によく用いられる、グリッドと呼ばれるウェイポイントに沿って飛行を行っている。

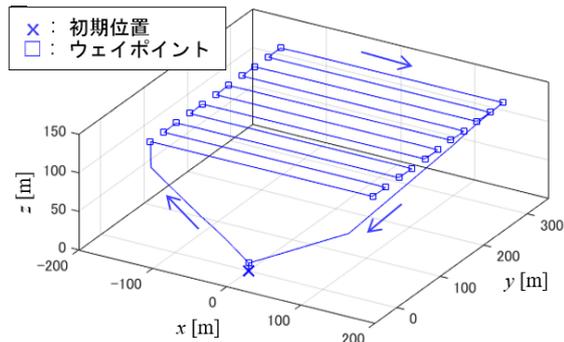


図-2 軌道シミュレーションの例

### 3. 2 信号伝搬シミュレーション

信号伝搬シミュレーションにおいて信号は、伝搬環境に従って、一定の減衰と時間遅れを伴って受信局に到達する。受信局では全ての sUAS が発した信号の重ね合わせが検出されるので、本シミュレーションではこの受信局が受信する信号の推定を行う。

ここで sUAS の飛行環境には金属製の構造物やビルのような、電波を遮るものが非常に少ないと仮定し、信号の減衰 loss は式(1)に示す自由空間伝搬損失の式に従うものとする。

$$loss(t) = \left( \frac{4\pi R(t)}{\lambda} \right)^2 \quad (1)$$

ここで、 $t$  は時間を、 $R$  は sUAS と受信局の距離を、 $\lambda$  は電波の波長を表している。軌道と信号伝搬のシミュレーションを時間  $t$  で紐づけることで、信号伝搬のシミュレーションに sUAS の軌道の影響を反映している。

## 4. シミュレーション

### 4. 1 シミュレーション条件

本シミュレーションでは 5 機の sUAS を想定する。全ての sUAS はクワッドコプタとし、図-2 に示したグリッド飛行をするものとする。各 sUAS は表-1 に示した離陸時刻、初期位置から飛行を行い、受信局は  $(x, y, z) = (0, 0, 2)$  メートルの位置に設置する。ADS-B 信号は、sUAS 用の装置として既に販売されている ping1090 の信号を直接測定し、シミュレーションに用いる。ADS-B は仕様により、112 マイクロ秒のメッセージを 0.5 秒ごとに発する。測定した信号と sUAS の位置から、受信局に到達したときの信号を式(1)を用いて計

表-1 シミュレーション条件

	離陸時刻 [s]	初期位置 [m]
sUAS1	10	(0, 0, 0)
sUAS2	10	(-5000, 5000, 0)
sUAS3	10	(2000, 2000, 0)
sUAS4	10	(-8000, -8000, 0)
sUAS5	20.2	(5000, -5000, 0)

算することで、各時刻における受信機が受信する信号を推定する。また、干渉の最悪ケースを想定するため、各 sUAS は離陸と同時に ADS-B 信号を発し始めるものと仮定する。すなわち、sUAS1~4 は同一のタイミングで ADS-B 信号を発する。

### 4. 2 シミュレーション結果

シミュレーション結果を図-3 に示す。各 sUAS1~5 が発した信号を、それぞれ信号 1~5 と表記している。各信号の振幅と時間位相が、sUAS の離陸時刻や初期位置によって異なりつつも、受信局が受信した信号が重なり合っていることが示されている。

以上の結果より、sUAS のような狭いエリアで複数の機体が飛行する場合、受信局までの距離と飛行のタイミングによる減衰と時間遅れを考慮しても、信号同士が重なる可能性があるということが明らかとなった。

## 5. まとめ

本稿では、sUAS の軌道と、信号伝搬の連成シミュレーションを行い、狭いエリアに複数の sUAS が飛行しているとき、受信局が受信する ADS-B 信号が重なる可能性があることを明らかにした。今後は、推定された受信局が受信した ADS-B 信号が復調可能であるかどうかを調べることで、sUAS が発する ADS-B 同士の干渉の可能性を評価していく。

### 参考文献

- 1) D. Gettinger and A. H. Michel, “Drone Sightings and Close Encounters: An Analysis”, 2015.
- 2) P. Kopardekar et al., “UAS Traffic Management (UTM) Concept of Operations to Safely Enable Low Altitude Flight Operations”, 2016.

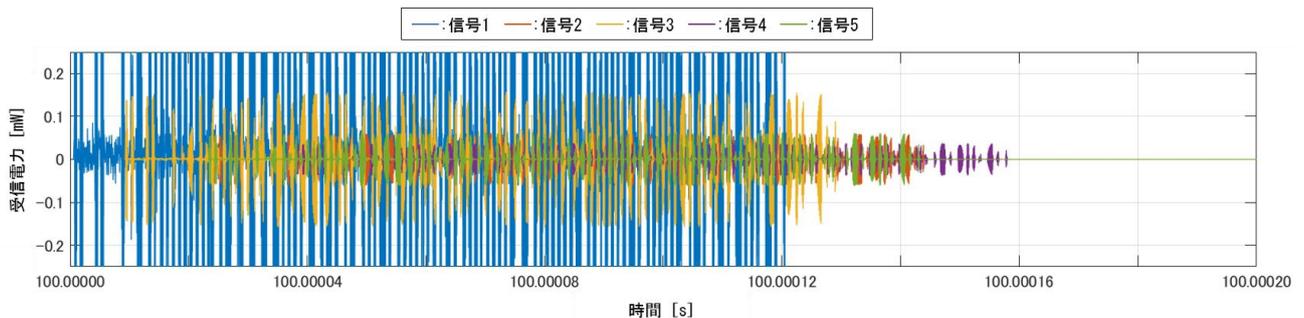


図-3 受信局が受信した信号の推定値