「欧米で進む無人システム（Unmanned System）の現状と日本の状況」 ーコンピュータビジョン技術を応用した自動3D化システムー

Current state of the unmanned systems that advance in Europe, United States and Japanese situation

村木 広和*・石川 紀明*

Hirokazu MURAKI and Noriaki ISHIKAWA

Abstract : This technical report is current trend and technical issue of Unattended System, on the legal system and safety to be discussed on to operate the unmanned system. It is recitation the problem of the operational which is considered as the current situation in Japan. In addition, it also introduces software to automate up to creation of ortho-mosaic image and DSM from analysis aerial triangulation using computer vision technology, aerial photographic images taken at a high overlap ratio from the point of view of photogrammetry.

1. はじめに

近年、欧州では InterGEO2012や2013等で無人システム（Unmanned System：以下 US と略す）の展示が多くなり、空を中心に陸、海の分野で US が広がっている。米国では2013年ワシントン D.C で開催された米国最大級の無人機展示会「AUVSI's Unmanned Systems 2013」においても、空、陸、海まで含めた US が多く展示された。2014年の AUVSI は、5月13日～15日にかけてフロリダオーランドで開催された。概ね次のような分野に分かれる。

- (ア) ロッキードマーチンなどの軍事産業中心の展示
- (イ) ベアリングやエンジン部品、小型コンピュータ等を組み立てる企業などの展示
- (ウ) 小型 US や各種センサなどの展示

今回の AUVSI2014では、自律型無人機と遠隔操作による無人機の展示があり、現段階における実用レベルでの展示が多く夢物語ではない世界があったと言える。これらの基本的な技術は、電子部品の高密度化と高速処理化によるもので電子機器の発展が US の技術的な自律化を可能としている。具体的には、ジャイロ装置や GNSS（測位衛星）受信機、デジタルカメラと言った装置の小型化であり、自己完結型の知能ロボットと言ったレベルは未だ難しいと言えるのが現状であ

る事も再度認識させられた。

ここで、現状を再確認するが、今だ、ノイマン型コンピュータを基本としていることを認識し、目前にある便利な US をどの様に安全に運用し、何の目的で利用するか熟慮する必要がある。

2. UAS (Unmanned Aircraft System：無人航空機システム)

UAS は、飛行体だけではなく、運用システムから利用までを広く俯瞰したトータルな仕組みであることを指している。特に、マルチロータ型 UAS と固定翼型 UAS を中心に以下の条件を兼ね備えたものが広く開発され商用化され始めている。

- (ア) 機体要素（数百グラムが多く小型 UAS 市場の拡大につながっている）
- (イ) 地上要素（可搬型でノート PC+通信装置程度が現実的に可能となった）
- (ウ) 通信要素（データ伝送に、2.4GHz を含む ISM バンドが広く利用可能となった）
- (エ) ミッション要素（様々なセンサが小型化され搭載可能、デジタルカメラ、近赤外カメラ、暗視カメラ、熱赤外カメラ、マルチスペクトルカメラ、ハイパースペクトルカメラ、レーザ計測装置、レーダ装置等）
- (オ) 地理空間情報との融合要素（ミッション要素において様々なセンサから得られた情報を元に地理空間情報上に展開するソフトウェア等）

*株式会社イメージワン

「写真測量とリモートセンシング」VOL. 53, NO. 3, 2014

3. 地理空間情報との融合要素技術（最新の写真測量技術）

UAS は、一度に数百枚～数千枚にわたるデジタル画像を取得し処理をする必要がある。従来の写真測量システムでは、隣り合う写真間で共通となる点を半自動か手動で取得する必要があった。UAS 用の写真測量システムは、コンピュータビジョン等の研究成果を利用したもので重なり合う写真間を自動認識し、キーポ

イントと呼ばれるポイントを写真毎に抽出し、キーポイント間でマッチングを行なうことで自動解析空中三角測量を可能とした。この後は、ポイントクラウドデータ作成（1画素に1点から設定が可能）、DSM 作成、オルソ画像作成と自動的に処理する写真測量システムが UAS 用に開発されている。例えば、スイスの Pix4D 社が開発した Pix4Dmapper では、以下の条件で撮影された写真の 3 次元化が可能である。

図1 3Dソフトの概略流れ

図2 画像データの処理フロー

図3 Pix4Dmapper を用いたデジタルオルソと DSM 図

図4 Pix4Dmapperを用いた手持ち撮影画像の解析結果
(GPS機能付 Sony Cybershot 手持ちで撮影写真枚数：69枚)

(ア) 大量の空中写真(OB：80%以上，SL：50%以上)
を自動で重ね合わせて二次元マップや三次元モデル
作成機能

(イ) 航空機や小型無人飛行機(UAV)から撮影したデ
ジタル画像だけでなく，GoPro，Tetracam，魚眼レ
ンズを付けたデジタルカメラを用いた地上写真も解
析機能

(ウ) 画像処理や写真測量の専門的な経験値に左右され
ず安定した品質で，誰でも処理が可能な生産機能

(エ) 3Dソフトの概要フローと出力されるデータを以
下に示す(図1参照)。

1. 3Dポイントクラウド処理(図4参照)
2. 3D DSM(Digital Surface Model)処理
3. オルソモザイク処理

(オ) Pix4Dmapperにおける処理フロー(図2参照)。

(カ) Pix4Dmapperによるデジタルモザイクオルソ結
果とポイントクラウド結果を示す(図3および4参
照)。

4. 米国でのUASの利用と課題

米国では，無人機の商用利用はFAA(米連邦航空局)のルールで禁止されている。その為，UAS販売業者や利用者は，連邦議会へのロビー活動を開始し2012年2月に米国の航空運輸関連法が改正され，無人航空機の利用が初めて法律の条文に盛り込まれた。しかし，これらの法律でも，無人航空機の利用が認められるのは，警察や消防，国境警備局などの政府機関となっている。また，何らかの緊急サービスを提供する団体(大学，研究機関)にも利用が許される。ただし，いずれも事前にFAAに無人航空機の利用を申請し，その許可が下りた場合に限られる。一方，農業散布や映画製作など民間ビジネスへの利用が可能となるのは，2015年の9月30日以降。それまでにFAAは現在の航空管制システムを改良するなどして，これまでの有人航空

機とこれからの無人航空機が共存できる体制を整えることが定められた（米国の Domestic Drones Stir Imaginations, and Concerns (The New York Times, March 17, 2013記事から引用)。

無人機の飛行高度は400フィート（約120メートル）以下と定められ、日本より厳しい条件である。しかし、安全性の懸念は拭えなく2013年3月4日、ニューヨークのJFK国際空港付近でアリタリア航空機とUAVがニアミスを経験している（現在ビジネス：ブームを迎える無人航空機 (Drone) 2013年03月28日(木)小林雅一から引用）。

その利用と規制の現状これらを踏まえて、FAAが法整備と安全運用に関する取りまとめを始めている。しかし、2014年5月14日AUVSI2014の基調講演でJohon Mica 下院議員（フロリダ州選出）は、FAAのUAV商用利用に関する法整備について、遅れているのが現状であると報告した。米国議会は、UAVの運用について、2015年を目標にしていたが計画を見直しており、法制度化の期限が明確に決っていないのが現状である。その大きな要因として、安全性とプライバシーの確保という点をどのように考慮すべきかの指針を出すことが出来ていないのが現状で技術の進歩に制度が追いついていないと報告していた。また、FAAはUASの評価試験サイトとして6箇所エリアを指定して、各目的にあったテストを行なっている。以下にその6サイトを記載する。

- (ア) The University of Alaska (アラスカ大学)：気候変動に伴う試験環境。ハワイとオレゴン州にある試験場も含みます
- (イ) The state of Nevada (ネバダ)：航空機としての性能認定要件の確認や管制についての検討を実施
- (ウ) New York's Griffiss International Airport near Utica (NY州グリフィス空港)：特に、空港から北東空域にある航空路の交錯地域において他の航空機の衝突防止や回避方法の検証を実施
- (エ) North Dakota Department of Commerce (ノースダコタ州商務省)：耐空データの開発や操縦者とのデータリンクの開発検討を実施
- (オ) Texas A&M University in Corpus Christi (テキサス A&M 大学)：無人航空機のセーフティーシテムに関する開発検討を実施
- (カ) Virginia Polytechnic Institute and State University (バージニア工科大学)：操縦者とのデータリンク

クが失われた場合や故障モードにおいて、機体が安全に着陸するための手法の開発検討を実施。なおテストサイトにはバージニアとニュージャージーにある試験場も含みます。

5. 日本国内の状況

従来の有人航空機とは様々な面で異なる特徴を有しているUASは、従来の有人航空機を前提とした法規制に完全には整合せず、明確に定義されていない状態である。該当の可能性がある事例が未だ極少数であることもあり、個別の対応がなされている。

航空法の第二条には「航空機」とは、人が乗って航空の用に供することができる飛行機、回転翼航空機、滑空機及び飛行船その他政令で定める航空の用に供することができる機器をいう」と定義されている。また、同第八十七条には「…操縦者が乗り組まないで飛行することができる装置を有する航空機は、国土交通大臣の許可を受けた場合には、これらの規定に定める航空従事者を乗り組ませないで飛行させることができる」と定められている。例えば、2004年に北海道大樹町において飛行試験が行われた定点滞空飛行試験機(JAXA/NICT)は全備重量が6400kgと、コックピットを有しないながらも「人が乗ることが出来る」規模であったため、航空機として扱われ、航空法第十一条但し書に基づき、国土交通大臣の許可の下で飛行試験が行われている(JAXA：大樹町・宇宙航空研究開発機構 連携協力拠点 大樹航空宇宙実験場から引用)。一方、無人航空機関連メーカーなどで構成される業界団体である日本産業用無人機協会(JUAV)は、航空法では定義されていない（＝人が乗れない）農薬散布ヘリコプター等の運用に関して無人地帯運用における自主基準を策定し安全な利用に努めている。今後日本において、UASやUSを利用する上でのリスクに関して議論を進める必要がある。特に以下の箇条書きは当社にてUASを運用する上での安全対策としている。

(ア) 電波法の遵守

1. 日本ラジコン電波安全協会（標準規格適合証明書 73MHz 産業用ラジコン）に適合したコントローラの使用。日本で認められない35, 45, 49及び75MHz帯等の海外製ラジコンや日本では利用不可能なISMバンドのコントローラは電波法違反となるため使用しない。

2. UASからの機体テレメトリ情報や撮影画像の伝

送には2.4GHz帯高度化小電力データ通信システム(証明規則 第2条第1項第19号に掲げる無線設備)工事設計認証済の無線装置を使用し、海外で認められている他のISMバンド帯のデータ伝送システムは日本では電波法違反となるため使用しない。

(イ) 航空法の遵守

1. 航空法第2条、56条、82条、99条、および航空法施行規則第209条に抵触しない場所を示す。(進入表面、転移表面、水平表面、延長進入表面、円錐表面、外側水平表面の上空の空域、及び航空交通管制区域内の特別管制空域(個別に指定)を除く以下の空域)
2. 航空路内の地表または水面から150m以下の高さの空域
3. 航空路外の地表または水面から250m以下の高さの空域
4. 上記1.～3.以外の空域を飛行する場合は、模型飛行機の飛行許可申請書(模型飛行機の飛行通報書)による飛行許可が必要
5. 機器の安全性基準(日本産業用無人航空機協会で

認可されたものをもとに各社独自に作成し運用)

6. 適切な運用基準(日本産業用無人航空機協会で認可されたものをもとに各社独自に作成し運用)

*ただし、日本産業用無人航空機協会は任意団体で大手電気メーカー、ラジコンヘリメーカーで構成

(ウ) 株式会社イメージワン社の安全対策と飛行訓練

1. UAVシステムの構成、運用方法、バッテリー等の取り扱い教育
2. 飛行計画の立案方法の教育
3. 飛行原理、ナビゲーションに関する教育
4. 物理的な影響(気候や電波障害等)の教育
5. 飛行場所の選定方法
6. コントローラの操作方法
7. 離着陸方法の教育
8. 飛行前と後の機体状況のチェック
9. 安全飛行のための心得(鉄道、高速道路、幹線道路、飛行場、送電線鉄塔、変電所、人の頭上、水面上は水面から50m以上を飛行など)

(受付日2014.5.20、受理日2014.6.10)