

## 無人航空機システム～無人化技術が実現する新たなフロンティア～

### 1. 概要

航空分野において「無人化(および、それを実現するための空域統合)」は「ジェット化」以来で最大の変革である。無人化技術の軍事利用においては 2000 年代に大きな変化があったが、非軍事分野での利用に関しては今まさにフロンティアに踏み出そうとしているところであり、ジェット旅客機が現れた時にそうであったように、機体技術、運航技術、基準・法規等、航空分野のおよそ全ての分野において新しい取り組みが求められている。「旅客輸送」という航空利用最大の分野への適用にはまだ長い時間を要すると考えられるが、それ以外の多くの領域では今後 10～20 年で目に見えて技術の普及が進むと考える。本稿では無人航空機システムの現状、最新の研究開発事例と、実用化に向けた課題、将来の方向性に関して解説する。

#### 1. 1 Unmanned Aircraft Systems

無人化技術を適用した航空機と地上装置を含むシステムは UAS (Unmanned Aircraft Systems: 無人航空機システム) と呼ばれている。以前は UAV (Unmanned Aerial Vehicle: 無人機) という呼称が多く用いられていたが、「航空機 (Aircraft)」であることを明示することと、機体単独では意味を成さず、地上装置や通信を含めた「システム」として成立することを強調するため、UAS という呼称が使われるようになった。システムの要素としての機体部分を明示する場合には、UA (Unmanned Aircraft: 無人航空機) と呼ばれることもあるが、区別は曖昧であり、機体部分を指して UAS と呼ばれることも多い。UAV と呼ばれるよりもさらに以前には、RPV (Remotely Piloted Vehicle: 遠隔操縦無人機) と呼ばれることもあったが、近年の ICAO (International Civil Aviation Organization: 国際民間航空機関) における議論では、現状では「無人」といっても遠隔操縦者が常に存在し、「自律」という意味での「無人」では無いことを明示するため、RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems: 遠隔操縦航空機システム) という呼称も使われるようになってきている。

#### 1. 2 無人航空機システムの構成

現在の一般的な UAS は大まかに①機体要素、②地上要素、③通信要素、④ミッション要素の 4 つから構成される。①機体要素に関しては、小さいものであれば数百グラムの模型飛行機サイズのものから、大きいものでは全備重量 10 トンを超えるものまで幅広く存在する。現在では最初から UAS として設計・開発された機体が主流であるが、一部には既存の有人航空機を無人化改造したものも存在する。また有人/無人をミッションごとにオプションとして選択可能なタイプも存在し、特に OPV (Optionally Piloted Vehicle) と呼ばれている。②地上要素は GCS (Ground Control Station: 地上局) などと呼ばれ、特に小型機を管制するための可搬型 (ノート PC + 通信装置程度) のものから、車両後部に管制装置を搭載した移動型、衛星通信での遠距離運用を前提とした場合には建屋内に恒常的に設置されるものもある。また、離着陸は直近の移動型 GCS で行い、巡航は遠方にある固定型 GCS で行うなど、運航のフェーズごとに異なる装置で運航される場合もある。米軍では機種ごとに仕様が異なっていた GCS の基準を統一し、異なる機種間でも相互に

運航可能なようにする計画が進んでいる。③通信要素に関しては、近距離での運用が多い小型機のシステムでは LOS (Line Of Sight: 見通し内、2.4GHz 帯等) 通信が使われるが、長距離まで進出するシステムでは BLOS (Beyond Line Of Sight: 見通し外、衛星通信等) 通信が使われる。また、ある程度の規模のある機体では、冗長性などの理由により異なるタイプの通信装置を複数搭載するケースが多い。④ミッション要素に関してはシステムの目的に応じて様々なセンサやペイロードが搭載される。UAS のユーザーにとっては最も重要な要素であり、その開発には多くのリソースが投入されるが、小型システムの場合は (近年小型化と高性能化が著しい) 民生品 (デジタルカメラ等) が使われる場合もある。ミッションセンサ高性能化と共に、得られるデータ量も膨大なものとなるため、そのデータ伝送には広帯域通信が必要となる。大型の UAS では機首部分に高利得の指向性衛星アンテナが搭載されていることが多い。

### 1. 3 無人航空機システムの歴史

航空機を無人化しようとする試みは古く、第一次世界大戦のころから行われており、米海軍が研究開発した空中魚雷 (Aerial Torpedo) が最初の無人航空機であると言われている<sup>1)</sup>。その後、米軍では標的機 (Target Drone) として実用化が進んだ。攻撃任務への応用も第二次世界大戦時には試みられており、爆弾を搭載した無人の攻撃機 (Assault Drone) を、同行する有人機に搭乗したオペレータが無人機搭載 TV カメラの映像に基づいて無線操縦する仕組みであった。日本海軍との戦闘において実際に投入され限定的ながら戦果を出している。同大戦において独軍が開発した V-1 飛行爆弾も無人航空機の一例である。偵察任務に用いられるようになったのは無線や電子技術が発達した 1960 年代であり、米軍の多目的無人航空機がベトナム戦争等に投入されてきた。

ここまではまだ有人ミッションのごく一部を代替えるに過ぎない存在であったが、その後のイスラエル軍や米軍によって大規模な研究開発と積極的な導入がなされ、現在では軍事ミッションにおける重要装備の一角を担っている。特に 2003 年のイラク戦争以降においては無人航空機の軍事ミッションへの利用は一般メディアにも取り上げられるほどの認知を得ている。近年はUCAV (Unmanned Combat Air Vehicle: 無人戦闘攻撃機) と呼ばれる戦闘も可能な無人航空機システムの研究開発も行われており、今後も無人化の流れはとどまらないものと考えられる。

上述のように UAS は軍事利用において発展してきたが、防災分野における利用への期待も高まっている。東日本大震災と続く福島第一原発事故においては複数の UAS が投入され、その有効性が再認知された。従来の有人航空機ではその乗員に高いリスクが生じるようなミッションへの対応において、無人化技術は特に重要であると考えられている<sup>2)</sup>。

## 2 無人航空機システムの特徴

### 2. 1 無人航空機システムの用途

軍事利用においては Dull (退屈: 長時間監視任務等)、Dirty (汚い: 核生物化学環境下任務等)、Dangerous (危険: 航空劣勢空域における任務等) な (合わせて 3D と呼ばれる) ミッションにおいて無人化への要求が強く<sup>3)</sup>、ドライビングフォースとなってきた。軍事ミッションの多くは程度の差こそあれ 3D 要素があるため、装備の無人化はより一層進むと考えられる。一方、非軍事利用においても、進行性災害の連続監視や、原発事故、火山

噴火の観測など 3D と呼べる状況が想定され、無人化技術が徐々に適用されていくものと考えられるが、非軍事利用の大部分を占める旅客輸送分野における無人化の具体的なイメージはまだ見えていない（ただし無人化技術から派生する高度な自動化技術を適用したワン・マン・クルー化はコスト面のメリットが大きい）。貨物輸送に関しては無人化技術の適用が既に検討されている。

## 2. 2 無人航空機システム特有の技術

UAS は上述のように有人航空機の無人化改修から始まったものであるが、現代の UAS は最初から無人を前提として開発されるため、ただ単にコックピットや関連装備が無いだけでなく、従来の有人航空機には無かった技術的特徴を備えている。

### (1) 長時間滞空能力

パイロットが搭乗する有人航空機では、パイロットの生理的な限界から、飛行時間が限られてしまうが、無人の場合は地上オペレータが容易に交代可能であるため、従来の有人航空機をはるかに超える長時間の滞空運用が可能である。特に太陽光をエネルギー源に用いれば、システムの耐用時間にのみ制約されるような半永久的飛行も原理的に可能であり、従来の有人航空機では存在しなかった技術的に新しい領域が開かれる。例えば、米国 DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency : 国防高等研究計画局) では年単位の飛行継続が可能な滞空型 UAS の概念検討 (Vulture 計画<sup>4)</sup>) を進めている。

### (2) 小型化／超小型化

パイロットが搭乗する航空機の場合は必要な機体構造と装備で最低でも 150 kg 程度以上 (超軽量動力機のコックピット関連装置を除外した重量から) の機体重量になるため、原理的にそれより小さな有人航空機は存在し得なかったが、近年のアビオニクス技術の進歩により、小さな模型飛行機を自律飛行可能にした SUAS (Small Unmanned Aircraft Systems) も成立するようになっている。また、模型航空機分野でも実現されていなかったようなより小さな飛行体の研究開発もされており、DARPA による MAV (Micro Aerial Vehicle : DARPA 定義では最大寸法 15 cm 以下)、NAV (Nano Aerial Vehicle : 同 7.5 cm 以下) を推進しており、羽ばたきによる超小型の飛行体<sup>5)</sup>も実現されている。

### (3) 省力化 (低コスト化)

無人化によって省力化 (=人件費削減による低コスト化) が実現されると言われることがあるが、現在の無人化技術の水準では、追加が必要となる地上インフラや地上人員を考慮すると、特に規模の大きい機体システムにおいては、運航コストが有人機を上回る場合が多いと考えられる。将来的に自律化技術が成熟するとコスト面での優位性も出てくると考えられるが、当面の間は、有人航空機を単純に UAS 化することによるコスト面でのメリットは小さい。従来の有人航空機よりも小型の機体で遂行可能なミッション (例えば簡易空撮) においては小型化によるコスト減の効果が期待される。

### 3. 最新の研究開発例

#### 3. 1 放射線モニタリングシステム

宇宙航空研究開発機構（以下、JAXA）は日本原子力研究開発機構と共同で小型の UAS を利用した放射線モニタリングシステムの研究開発を進めている<sup>6)</sup>。東京電力株式会社福島第一原子力発電所周辺等の放射線量の観測に用いることを目的としている。全備重量約 50 kg、翼幅 4.2 m の機体（図 1）に放射線検出器を搭載し、山林の奥まった場所や山林火災等の人が近づくことのできない条件下においても継続的な放射線量のモニタリングを可能にするシステムである。JAXA で行ってきた飛行性能向上や制御技術をはじめとする種々の UAS 研究開発成果を適用し、従来の同規模システムに比べて飛行性能と信頼性を向上させることで、見通し外の運航においても高い安全性を実現する計画である。

#### 3. 2 新しい概念の航空機の飛行実証への利用

UAS は無人であることにより、新しい概念の飛行形態の飛行実験にとって非常に有効なツールとなる。本節ではその 1 例として JAXA で研究開発が行われている QTW（Quad Tilt-Wing）を紹介する。

QTW はティルトウィングを前後に配置した 4 発プロペラの VTOL（Vertical Takeoff and Landing：垂直離着陸）機であり、新しい航空機形態である。有人の VTOL 機の研究開発は過去に様々なされているが、新しい飛行形態の飛行実証は、その飛行実験で死者が出ることもあり、リスクが非常に高いものであった。無人化技術を適用することでそのようなリスクを避けることが可能である。また、近年の小型高性能なアビオニクス技術を適用することで、比較的小規模な機体でも高精度な飛行データを取得することが可能になっているため、コストも低く抑えることが出来る。新しい飛行形態に関して解析や地上試験で特性を完全に把握することはコスト的に困難であり、このような無人航空機実験による飛行実証は重要な開発ツールである。JAXA の QTW 実証機（図 2、全備重量約 35 kg）は 2012 年に完全遷移飛行（垂直離陸→高速巡航→垂直着陸）を達成している。



図 1. 放射線モニタリングシステム原型機<sup>6)</sup>



図 2. QTW-UAS 実証機 Akitsu<sup>7)</sup>

#### 3. 3 高高度滞空型無人航空機システム

JAXA では災害監視等のミッションへの利用を目指し、高高度滞空型 UAS の概念検討を進めている。気象現象が活発な対流圏とは異なり、成層圏においては気象条件が比較的安定しているため、例えば台風等の気象条件でもその上を飛び越えることで継続的な運航が可能である。1 機がミッション（観測など）を遂行している間に 2 機目が離陸し、観測の中断が発生しないように現場で引き継ぐ。特に離着陸においては横風条件や視程条件などにより運航のタイミングが制限されるが、長時間の滞空が可能であれば条件の良いタイ

ミングを選んでの離着陸が可能であるため、ETOS (Effective Time On Station : 利用率) を向上可能であると考えられる。試算によると、飛行時間が 72 時間 (3 日間) 程度以上では 100%に近い ETOS、つまり、ほぼ絶え間ない観測ミッションが実行可能であることが示されている<sup>8)</sup>。

対流圏に雲が生じている場合、成層圏を飛行出来たとしても光学センサによる地表観測は不可能であるため、主センサとして雲下が観測可能な合成開口レーダーが重要になる。一方、長時間滞空するという事は着陸してからの観測データ回収と言う従来の航空測量のような手法では、得られた情報の適時利用が不可能であるため、機上でのデータ処理とリアルタイムでの大容量伝送が必要となる。

米国では液体水素燃料 (LH2 : Liquid H<sub>2</sub>) を用いることにより UAS の飛行時間を大幅 (~1 週間程度) に向上させようという計画 (Aerovironment 社 Global Observer<sup>9)</sup>, Boeing 社 Phantom Eye<sup>10)</sup> もあるが、LH2 は運用面での課題が多く、短期的には商業利用可能になるとは考えにくい。本計画では早期の実利用開始を目標としているため、LH2 を用いずに 72 時間程度の飛行時間を実現することを目指している。主動力をレシプロによるプロペラ駆動とし、一部動力を発電機経由での電動プロペラ駆動に利用するハイブリッド推進システムを検討している。エンジンとモーターをスパン方向に分散最適配置することにより主翼曲げモーメントを緩和、機体構造の軽量化を図る (図 3)。

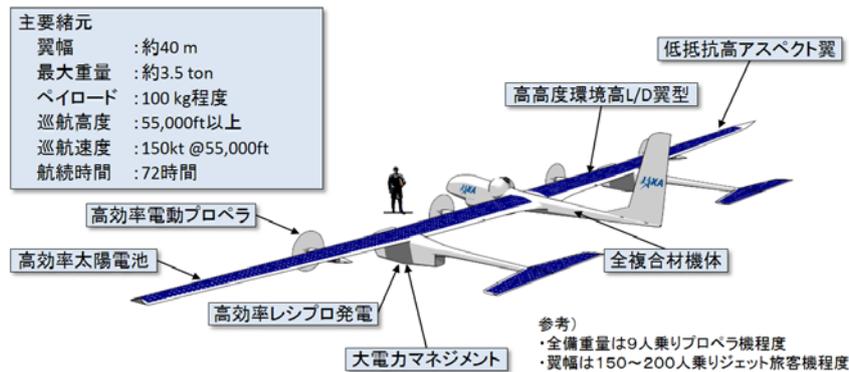


図 3. 高高度を 72 時間以上滞空可能な高効率機体案 (コンセプト図)<sup>8)</sup>

#### (1) 海域における連続監視ミッション

日本はその面積が世界第 6 位である広大な排他的経済水域 (EEZ : Exclusive Economic Zone) を有している。不審船の監視や海難事故における捜索、重油流出事故における影響拡大の監視など、海域における連続監視ミッションへの期待が大きい。人工衛星による広域的・面的な監視に加え長時間滞空型 UAS を用いれば、長期間の連続監視が可能となる。

#### (2) 進行性災害のリアルタイムモニタリング

台風等による豪雨災害への対応においては、気象予測により地表気象条件が悪化する前に離陸しておき、成層圏を滞空して被害リスクが高いエリアを監視可能とする体制を敷く。合成開口レーダーにより雲下、地表の状況をリアルタイムで監視し、河道閉塞 (土砂ダム) などをいち早く把握し、避難などの迅速な対応を可能とする。(図 4)

### (3) 衛星データ中継ミッション

地球観測衛星はその観測センサの高分解能化に伴い、そのミッションデータ伝送に対する高速化の要求が高まっている。電波帯域での高速化は技術的にも帯域幅の電波資源の面からも限界があり、より高速な伝送手段として光通信 (10Gbps 以上) が期待されている。しかしながら、光線は雲による影響を強く受けるため、日本における地上の固定点と衛星間の通信可能率は 1/3 程度でしかない。しかしながら、雲上を飛行する高高度滞空型 UAS を通信中継装置として利用することが出来れば、雲量に左右されない高速通信インフラを構築することが可能である。衛星-UAS 間を光通信 (短時間のバースト的な超高速通信)、UAS-地上間を電波 (ミリ波等) で比較的時間をかけて伝送する計画である (図 5)。

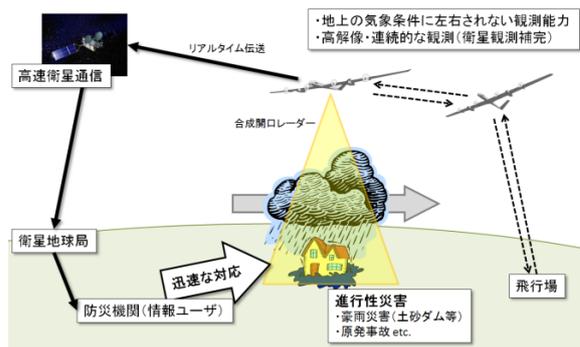


図 4. 進行性災害のリアルタイム監視<sup>8)</sup>

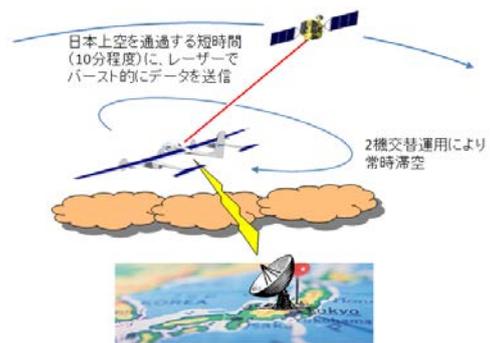


図 5. 観測衛星の光データ通信中継<sup>8)</sup>

## 4. 無人航空機システム実用化への課題

### 4. 1 空域統合

UAS の利用拡大における最大の課題が、「空域統合」(UAS の ATC (Air Traffic Control) システムへの統合) である。現在、UAS が飛行を許可される空域は基本的には制限空域であり、特別な飛行安全管理がなされており、有人航空機 (特に旅客機) との衝突の危険性はほとんど無い。ATC 下の空域を飛行するのは例外的な事例であり、一時的な特別許可で運航されており、通常の航空機同様の通常手続きによる管制空域飛行、いわゆる File and Fly は実現されていない。これは UAS のミッション能力を大きく制限する要因であり、改善が強く求められている。

ATC システムは非常に複雑で精巧なシステムであり、少数派である UAS のためだけにシステムを変更するのは、対費用効果が低い。そのため現在の ATC システムの下で UAS を飛行させるためには、UAS の側で有人航空機と同等の被管制機能 (例: 遠隔操縦者と管制官の音声通話) を実現する必要があると考えられている。

一方、長期的な将来を考えた場合、将来型の ATC システムの概念に UAS を取り込むことが出来れば、不自然で非効率な方法ではなく、よりスマートに UAS を有人航空機と特別な区別無しに運航出来るようになると考えられる。現状では旅客輸送という ATC の最大ユーザーにおいて短期・中期的な無人化が見えないためか、我が国の将来 ATC ビジョン (将来の航空交通システムに関する長期ビジョン (CARATS)) において積極的な UAS 考慮はなされていないが、長期的には UAS が幅広く普及すると考えられるため、出来るだけ早い段階からの将来計画へ織り込むべきである。

## 4. 2 安全性向上技術

他の航空機（有人・無人問わず）との衝突の危険性や、墜落時の地上への被害リスクなど、現状の有人機同等以上の安全性を確保することが必要であると考えられている。

### (1) Detect and Avoid / Sense and Avoid

有人航空機の操縦者には、飛行方式の如何にかかわらず機体周辺のトラフィックの状況を見張り、衝突を避ける義務がある（航空法第七十一条の二、操縦者の見張り義務<sup>11)</sup>）。これを SAA (See and Avoid) と言う。一方、UAS の遠隔操縦者による機体周辺の状況認知には得られる情報量や時間遅れ等により限界があると考えられており、それを代替える手段として自動化された D&A (Detect and Avoid) (あるいは SAA (Sense and Avoid) と呼ばれる) 能力が必要だと考えられている。米軍では地上配備型システム (レーダーおよび通信) を用いた GBSAA (Ground Based Sense and Avoid : 地上支援型衝突回避システム) を研究開発中であり、実証試験が開始されている<sup>12)</sup>。機体搭載型の ABSAA (Airborne Sense and Avoid : 機体搭載型衝突回避システム) の完全な実現は短期的には困難であるため、地上インフラを配備した空域に限定されるものの出来るだけ早期に空域統合へ踏み出したいという狙いがあると考えられる。一方、欧州ではメーカーなどを中心に、ABSAA の研究開発 (MIDCAS Project<sup>13)</sup>) も進められている。有効な D&A (SAA) 技術の確立と認証が UAS の空域統合における重要な鍵の一つである。

### (2) 通信の信頼性/自律レベルの向上

通信の信頼性は UAS の安全性に直結する最も重要な要素の一つである。絶対に途切れないデータリンクは実現が困難であるため、多重の冗長系とすることが基本となる。しかしながら長距離運用では衛星通信に頼ることになってしまうため、複数系統の衛星通信が必要となり、搭載装置の複雑化と重量の増大を招く。通信途絶時にも自律的に通信を回復するための行動、例えば、飛行経路の変更、アンテナ指向性を考慮した飛行姿勢の修正などが可能であれば、短時間の通信途絶に対しても十分な安全性を確保できると考えられる。つまりシステムの自律レベルの向上とともに総合的に取り組まなければならない課題であると言える。

## 4. 3 無人航空機システムに関わる基準・法規

### (1) 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。該当の可能性の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<sup>14)</sup>」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<sup>15)</sup>」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 6400 kg 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<sup>11)</sup>に基づき、国土交通大臣の許可の下で飛行試験が行われた。

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。しかしながら業界団体の自主基準だけでは限界があり、健全・安全な UAS 利用促進のためには、当局による UAS の明確な法規・基準の整備が求められる。

## (2) 諸外国・国際的な動向

米国 (RCTA)、欧州 (EUROCAE) や豪州において、UAS の安全基準に関する盛んな議論が行われており、耐空性基準や運航規則のドラフトが提案されている。また、国際的にも ICAO は将来の UAS の国際フライトを前提に国際基準の策定方針を示しており<sup>14)</sup>、条約加盟国による公式な議論が開始されている。現状の目標スケジュールでも 5 年後の 2018 年になってようやく安全基準発行とされており、基準の策定、整合調整と、関係者のコンセンサス構築は困難な作業であることが伺える。

模型航空機に準じるような SUAS に関しては大型機と区別する方向で議論されているが、具体的な数値 (機体重量等) に関してはまだ複数案 (25 kg、150 kg 等) が存在しており、調整には時間を要するものと考えられる。米国では警察や消防などで数 kg 程度の規模の小型無人機の導入が計画されており、非軍事分野での UAS 利用として大型機よりも先に進むものと考えられている<sup>15)</sup>。

## 5. おわりに

UAS は軍事利用を中心に発展してきたため、その非軍事分野への応用は一部を除いてまだ途上段階にある。飛行場や通信などのインフラの整備や、耐空性基準・運航規則などの法規制の課題、安全性に対する社会のコンセンサスなど、純粋な技術以外にも課題は山積している。しかしながら原発事故対応や火山観測など、他の手段では代替え困難なミッションもあり、社会の安全・安心に貢献する将来技術として非常に重要なものであると考えられる。行政機関、研究所、大学、ユーザーの連携を積極的に進め、技術のみならず社会的なコンセンサス構築と国内法規・基準の整備を急ぎ、早期の実利用を実現する必要がある。

## 参考文献

- 1) Richard K. Barnhart, Stephen B. Hottman, Douglas M. Marshall J.D., Eric Shappee, "Introduction to Unmanned Aircraft Systems", CRC Press, 2011
- 2) 日本航空宇宙学会, "対震災航空宇宙技術調査タスクフォース提言," 2012 年 3 月  
[http://www.jsass.or.jp/web/modules/wordpress/attach/120309\\_taishinsaiTF.pdf](http://www.jsass.or.jp/web/modules/wordpress/attach/120309_taishinsaiTF.pdf)
- 3) Office of the Secretary of Defense of the United States, "Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2005-2030", August 2005
- 4) DARPA Vulture, [http://www.darpa.mil/Our\\_Work/TTO/Programs/Vulture.aspx](http://www.darpa.mil/Our_Work/TTO/Programs/Vulture.aspx)
- 5) AeroVironment, Inc., Nano Hummingbird, <http://www.avinc.com/nano>
- 6) JAXA プレスリリース, "日本原子力研究開発機構及び宇宙航空研究開発機構による小型無人航空機を利用した放射線モニタリングシステムに関する共同研究について",

- [http://www.jaxa.jp/press/2012/06/20120612\\_monitoring\\_j.html](http://www.jaxa.jp/press/2012/06/20120612_monitoring_j.html), 2012年6月12日
- 7) 佐藤昌之, 村岡浩治, 岡田典秋, 久保大輔, "4発テイルトウイング形態 VTOL 無人機の飛行制御則設計", 日本航空宇宙学会第43期年会講演会, D17, 2012
  - 8) 久保大輔, 原田賢哉, 石川和敏, 佐々修一, "高高度滞空型無人航空機を用いた連続監視システムの検討", 日本航空宇宙学会第50回飛行機シンポジウム, 2A08, 2012
  - 9) AeroVironment, Inc., [http://www.avinc.com/uas/stratospheric/global\\_observer/](http://www.avinc.com/uas/stratospheric/global_observer/)
  - 10) Boeing Phantom Works, [http://www.boeing.com/bds/phantom\\_works/index.html](http://www.boeing.com/bds/phantom_works/index.html)
  - 11) 航空法, <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S27/S27HO231.html>
  - 12) Viva Austin and Mary Ottman, "Ground Based Sense and Avoid", AUVSI North America 2012
  - 13) MIDCAS Project, <http://www.midcas.org/>
  - 14) ICAO, "Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS)", April, 2012
  - 15) Forecast International, "Unmanned Vehicles Forecast", 2012