

ISSN 1342-5935

IPSHU 研究報告シリーズ
研究報告 No.49

軍事目的の無人航空機の危険性

山下 明博



March, 2014

広島大学平和科学研究センター
730-0053 広島市中区東千田町1-1-89
TEL: 082-542-6975
FAX: 082-245-0585
E_mail: heiwa@hiroshima-u.ac.jp
URL: <http://home.hiroshima-u.ac.jp/heiwa/>

IPSHU 研究報告シリーズ
研究報告 No.49

軍事目的の無人航空機の危険性

山下 明博

(広島大学平科学研究センター客員研究員・
安田女子大学現代ビジネス学部)

目次

はじめに	1
1. 航空機の定義	2
2. 無人航空機の分類	6
3. 無人航空機の制御	10
4. 無人航空機の歴史	18
5. 現代の無人航空機	36
6. 現在の無人航空機の制御と問題点	74
7. 将来の無人航空機の制御と問題点	81
8. 無人航空機の民間利用	87
9. 結論	91
引用文献	93

はじめに

人類は、歩いて移動をして生活していた。そして、人類の活動は、歩いて移動できる距離に制約を受けていた。その後、人類は船や自転車や自動車を開発し、離れた地点間を移動する時間は格段に短縮されるようになった。そして、航空機が実用化の域に達すると、大陸間の移動でさえ短時間で可能となり、人類の活動を大きく変え、グローバル化の原動力となった。

この航空機の中で、パイロットが不要で自動運転が可能な航空機を、「無人航空機」と呼ぶ。この「無人航空機」は、無限の可能性を有している。将来、個人が小型の無人航空機に乗り込み、自動運転の機能を使ってパイロットなしで目的地まで移動するようになれば、自動車よりも高速に、任意の場所に手軽に移動できるようになる。そして、パイロットの不要な無人航空機は、技術的には現在でも実現可能である。

しかし、自動車は、フォード自動車 (Ford Motor Company) の量産化以来、民事目的の分野で発展してきたのに対し、航空機は、軍事目的の分野が先行し、その後、民事目的の分野に利用されるようになってきた。特に、軍事目的で使用されている無人航空機は、人道的な問題を解決しないまま、実用化が進んでしまい、様々な問題を引き起こしている。

本論文では、最初に航空機の定義を行う。次いで、無人航空機の種類と様々な制御方式に関して論じる。さらに、軍事目的であった無人航空機の歴史を振り返り、現在と将来の無人航空機の問題点を論じるとともに、無人航空機が民間で活用されている例を示す。そして、無人航空機は、民間利用の分野でこそ活用されるべきであり、人間の意志が介在しないロボット無人航空機を、兵器として利用することの危険性について論じる。

1. 航空機の定義

1. 1 航空機の起源

航空機の歴史は、約 100 年前にさかのぼる。人類で初めて人間を乗せて飛んだ有人航空機は、ライト兄弟 (Wilbur Wright、Orville Wright) の航空機である。その形状は、現在の固定翼航空機の原型ともいえるべきものであった。現在の固定翼航空機の大半には、主翼と補助翼が備わっている。そして、主翼よりも補助翼が後ろに位置する形状が普通である。そのため、補助翼のことを尾翼とも呼ぶ。しかし、ライト兄弟の固定翼航空機は、主翼よりも補助翼が前に位置する形状であり、先尾翼機という特殊な形状であった。

1903 年 12 月 14 日、12 馬力という極めて非力なガソリンエンジンを付けたライト式第 1 号有人航空機は、兄ウィルバーの操縦で、ノースカロライナ (North Carolina) 州キティホーク (Kitty Hawk) の砂丘の斜面上に敷かれた木製のレールの上を滑走してみごとに離陸し、3 秒半の間に約 32m を飛んだ。その後、兄弟が相互に有人航空機に乗って、4 回目にウィルバーが、59 秒間に約 260m の距離を飛び、人類最初のエンジン付き有人航空機による飛行に成功した (宇野 (編) 1970, 10)。図 1 に、ライト兄弟の有人航空機を示す。

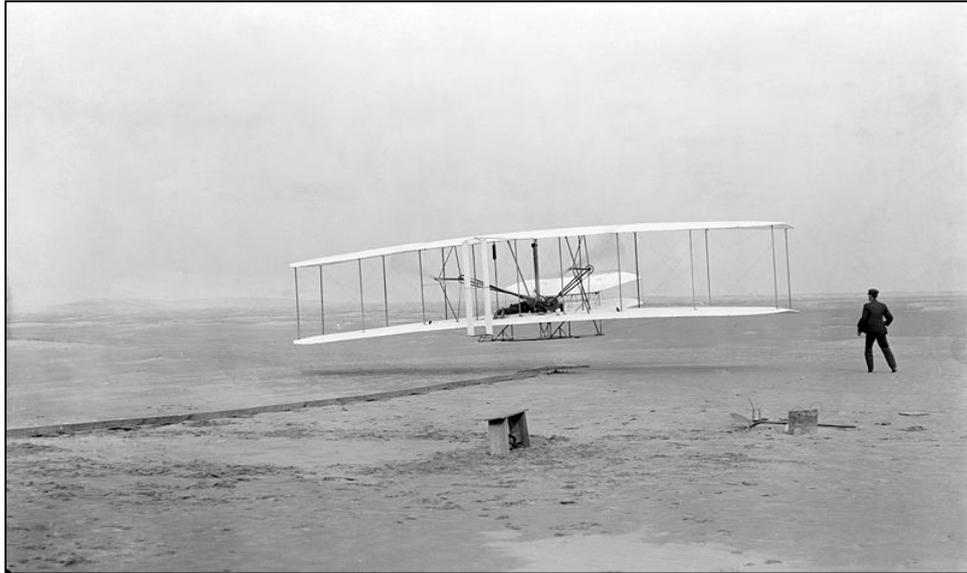


図1 ライト兄弟の有人航空機
(出典：宇野（編）1970, 10)

その後、航空機は大きな進化を遂げた。特に、民間航空会社が国際航空路を構築するようになると、国家間で航空機に関する規則や分類を条約として定めておく必要が生じた。

1. 2 航空機の定義

1944年11月、アメリカのシカゴ（Chicago）において、民間航空に関する国際会議が開催され、国際民間航空条約（Convention on International Civil Aviation）、いわゆるシカゴ条約が採択された。シカゴ条約には、航空機に関する分類法が定められており、「航空機は、大気中における支持力を、地球の表面に対する空気の反作用以外の空気の反作用から得ることができる一切の機器」と記述されている。シカゴ条約では、有人航空機も無人航空機も、ともに航空機として定義されていることになる。

さて、日本国内においては、航空機の航行の安全及び航空機の航行に起因する障害の防止等を目的として航空法が制定されている。

航空法2条1項において、航空機は「人が乗つ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」とされている。しかし、政令により、その他の航空の用に供する機器が定義されているわけではない。その意味では、日本の航空法においては、有人航空機のみが航空機として定義されており、無人航空機についての定義はなされていないことになる。

また、航空法 81 条には、最低安全高度の規制が定められており、日本の航空機は、人や家屋が密集している地域の上空では、航空機の周囲 600m 範囲内の一番高い障害物の上端から 300m 以上の高度、それ以外の地域では 150m 以上の高度を保って飛行することが義務付けられている。さらに、日本で飛行する航空機は、日本国内で耐空証明を取得する必要がある。しかし、無人航空機については航空法の定義が存在しないため、最低安全高度の規制は適用されず、耐空証明の取得も不要という結論に至る。

1. 3 日本上空の無人航空機の安全性

それでは、無人航空機が定義されていない航空法の下で、日本の上空を飛行する無人航空機の安全性について問題はないのであろうか。

後述するアメリカの大型無人航空機 RQ-4 は、最大離陸重量が 12t にも達する。このような無人航空機が、制御を失い墜落した場合、有人航空機と同等の人的・物的被害を及ぼすことが予想される。また、農薬散布用の無人航空機が墜落し、死者を出した痛ましい例も存在する¹。

現在、農薬散布用の無人ヘリコプターについては、業務用ラジコンとして、電波法により使用周波数帯が規定されている。また、農林水産航空協会が、無人ヘリコプターの技能認定証を発行している。しかし、航空法が無人航空機の存在を定義していないのは、非常に問題であると考ええる。

日本上空を飛行する航空機については、もう一つ別の問題がある。それは、日米地位協定に基づくアメリカ軍機の飛行に関する問題である。

先述のように、日本上空を飛行する航空機は、航空法の制約を受ける。しか

¹ 2013 年 7 月 18 日午前 8 時半ごろ、千葉県君津市大戸見の市道で、農薬散布のため無線操縦ヘリコプターを操作していた同県富津市豊岡、農業従事者、尾坂芳郎さん（60）がヘリのプロペラと接触し、頭を切って死亡した（共同通信 2013 年 7 月 18 日配信）。

し、日本の上空を飛行するアメリカ軍の有人航空機は、日米地位協定²により締結した「航空特例法（日米地位協定の実施に伴う航空法の特例に関する法律）」により、航空法の制約を受けない。そのため、オスプレイ（Osprey）などのアメリカ軍機は、航空法 81 条に定められている最低安全高度規制に制約されず、低空を飛行することも可能である。さらに、航空法に無人航空機の定義がない以上、アメリカの無人航空機に、航空特例法は適用されない。

今後、日本国内で運用される無人航空機が増加することを考え、航空法で無人航空機を定義し、規制すべきものは規制をかけるべきであると考えます。

² 日米地位協定は、1960年1月19日に締結された新日米安保条約（日本国とアメリカ合衆国との間の相互協力及び安全保障条約）第6条に基づき、日本とアメリカとの間で締結された協定である。

2. 無人航空機の分類

人類が開発した航空機は非常に種類が多い。そのため、航空機を分類する方法がいくつも提案されている。そこで、本論文において無人航空機について論じる前提として、無人航空機の分類法を以下に示す。

2. 1 軍用・民間による分類

無人航空機を、その使用目的により、無人軍用航空機と無人民間航空機に分類することがある。無人軍用航空機とは、軍事目的で軍が利用する無人航空機であり、無人民間航空機とは、非軍事目的で民間が利用する無人航空機である。実際には、軍用航空機と民間航空機を兼ねた機種も存在するが、その場合は、その航空機の所属が軍であるか否かによって分類する。

2. 2 動力の有無による分類

無人航空機は、動力の有無により分類することができる。

無人航空機の中で、動力を持たないものには、凧や紙飛行機、模型飛行機等がある。

凧は、中国で生まれた無人航空機であり、すでに紀元前より使用されていた記録が残る (Wagner 1992, 15)。また、アメリカの南北戦争では、敵の位置を知るために、気球が使われたという記録がある。第二次世界大戦中、アメリカ海軍は、対空射撃訓練の目標として、2本の糸で操作する凧を使用していた。

紙飛行機は、その起源は不明であるが、折り紙飛行機は玩具として手軽に制作できるため、長い間使用されていたと考えられる。折り紙でない紙飛行機としては、第一次世界大戦で敗れたドイツが、動力を持った航空機の開発・使用を制限されたため、紙飛行機を制作し、双発爆撃機のテストベッドとしたり、1930年代には、ノースロップ社のジャック・ノースロップ (Jack Northrop) が、現実の飛行機のアイデアを得るために、無尾翼機や全翼機などのテストベッド

として多くの紙飛行機を制作した記録がある。

模型飛行機は、もともとは軽量な木材や竹で骨組を作り、そこに紙や布を貼った航空機であった。飛行させる際に機体にかかる荷重に耐えられる強度を保ちつつ、軽量化を行う必要があり、その材料には制約が多かった。しかし、現在は、樹脂材、発泡材、繊維強化プラスチックで骨組を作ったり、プラスチックフィルムを貼ったりすることにより、より強度が高く、より軽量の模型飛行機が制作されている。

この模型飛行機には、操縦を行わないタイプと、何らかの手段で操縦を行うタイプが存在する。

他方、動力を有する無人航空機には、様々な種類が存在する。

最も軽量の動力としては、ゴムがある。19世紀には、無人航空機として、ゴムを動力とする模型飛行機がアルフォンス・ペノー (Alphonse Pénaud) たちにより制作されていた。細長いゴムを束ねて捻り、もとに戻ろうとする力を動力として使用するゴム動力というアイデアは、他に軽量で強力な動力源が存在しなかったこともあり、その後長期間にわたり使用されてきた。

ジョン・ケリー (John Kerry) は、1807年、動力源に火薬を使用する羽ばたき式航空機を制作した。しかし、火薬は動力として制御が難しいという問題を抱えていた。

1848年には、ジョン・ストリングフェロー (John Stringfellow) により、蒸気機関を動力として使用した無人航空機が制作され、実際に飛行した。すでに蒸気機関車の動力源として使用されていた蒸気機関は、重量があるものの、ゴム動力に比べ、はるかに大きな動力を発生させることができた。

内燃機関の一種であるグローエンジン (Glow Engine) も、無人航空機の動力源として使用された。グローエンジンは、メタノール (Methanol) とニトロメタン (Nitromethane) にオイル (Oil) を混ぜた燃料を使用し、その爆発によりエンジンを回転させるものである。

また、ジェットエンジン (Jet Engine)、ロケットエンジン (Rocket Engine)、電動エンジン等も近年では無人航空機に使用されている。

2. 3 アメリカにおける軍用無人航空機の分類

アメリカは、第一次世界大戦当時より、多くの無人航空機を開発、運用してきた。アメリカでは、無人航空機を UAV (Unmanned Aerial Vehicles) と呼び、UAV は、その目的によって、3 つに分類される (Wagner 1992, ix)。

(1) 標的無人航空機 (Pilotless Target Aircraft)

有人航空機の空対空戦闘訓練のための空中標的、地对空兵器のための空中標的、新兵器の効果確認のための空中標的である。航空機の機銃やミサイル等の兵器を開発する際に、標的となる航空機を飛ばし、兵器が正しく動作するか、目標とする性能を達成しているかを確認するために使用される。また、軍隊が兵器を使用する訓練において、標的となる航空機を飛ばし、標的を撃墜できるかを確認するために使用される。標的となる航空機にパイロットが搭乗していると、味方の兵器により攻撃され撃墜される可能性が高いため、非常に危険である。そのため、無人航空機の初期段階から、標的機の開発は積極的に行われてきた。

(2) 偵察無人航空機 (Reconnaissance Vehicles)

敵地上空を飛行し情報を収集する偵察機である。もし、偵察機にパイロットが搭乗していると、偵察対象国の領土上で撃墜された場合、パイロットと機体が敵に確保される可能性が高い。偵察無人航空機であれば、敵国に撃墜されても、敵に確保されるのは機体だけであり、人的被害は生じない。

(3) 攻撃無人航空機 (Weapon Delivery Systems)

敵を兵器により攻撃する航空機である。兵器により敵を攻撃するものと、兵器に搭載した爆薬ごと敵陣に突入するものがある。もし、攻撃用の航空機にパイロットが搭乗していると、敵国領空で撃墜された場合、パイロットと機体が敵に確保される可能性が高い。無人の攻撃航空機であれば、敵国に撃墜されても、敵に確保されるのは機体だけであり、人的被害は生じない。

2. 4 誘導手段による分類

筆者は、これまでの分類に加え、無人航空機を誘導する手段の有無により 2 つに分類すべきであると考える。

(1) 無誘導無人航空機

全く誘導装置を持たない航空機である。投げ上げ式の模型飛行機や、カタパルトから発射する模型飛行機、推進力を生む発射ガスを噴射し誘導なしに飛行するロケット (Rocket) 弾³等がそれに相当する。航空機がどのように飛行するかを制御することはできない。

(2) 誘導無人航空機

誘導装置を持つ航空機である。推進力を生む発射ガスを噴射し、誘導装置の指示に従い目標に向かって飛行するミサイル (Missile) や、無線により、離れた場所から人間が遠隔操作で飛行させる無人航空機、自立航法により、人間の遠隔操作を行うことなくコンピュータが飛行を行うロボット無人航空機がそれに相当する。

³ ここで述べたロケットという用語は、宇宙航空工学における、誘導装置により宇宙に物質を運搬するロケットとは意味が異なる。

3. 無人航空機の制御

航空機を飛行させるときの制御方法を、航法と呼ぶ。航空機の進化とともに、航法も進化をしてきた。また、無人航空機に採用される航法の多く、有人航空機と共通である。

この章では、無人航空機の航法について論じる。

3. 1 航空機における航法

ごく初期の航空機の操縦は、長い距離を飛行できるわけではなかったため、目視に頼り飛行していた。

その後、操縦士が、航空地図を使い地上の海岸線や鉄道線路などといった地形と照合して飛行する「地文航法 (Geo-Navigation)」や、航空士という専門家が乗り込み、六分儀を使用して太陽、月、恒星、惑星など、あらかじめ位置が判別できている天体を観測し、天測計算表にあてはめて現在位置を知り飛行する「天文航法 (Astro-Navigation)」も使用された (藤井 1995, 4)。また、既知の地点からの方位と距離を計算し、これに風向・風速を考慮して、機首の向き、飛行距離を推測して飛行する「推測航法 (Dead Reckoning Navigation)」も使用され、すべての航法の基礎となった。さらに、戦争が地球規模で発生し、来襲する敵機をいち早く探知したり、味方機を基地にまっすぐに帰投させるため、そして、暗闇や霧の中でも航空機を誘導できるようにするために、「電波航法 (Radio-Navigation)」が使用された (藤井 1995, 7)。

しかし、これらの航法は、有人航空機のために開発されたものであり、そのまま無人航空機に適用することは困難であった。

その後、コンピュータ技術、制御技術が発展することにより、この状況に変化が生じる。それは、「電子航法 (Electric-Navigation)」の登場である。「電波航法」に、コンピュータ技術、制御技術のような電子技術を組み合わせることにより、無人航空機を飛行させることの可能な航法として、「電子航法」が確立された。

「電子航法」においては、航空機の現在の状態（位置、速力、針路、姿勢等）に関する情報を求め、そのデータから航空機の自動操縦を行う。この自動操縦システムは、すでに「オートパイロット（Auto-Pilot）」として、小型機を除く大半の航空機に搭載されている。

チャールズ・スターク・ドレイパー（Charles Stark Draper）は、加速度を測定し、そこから速度と位置を求める「慣性航法システム（Initial Navigation System）」を考案した（藤井 1995, 9）。INS と呼ばれるこのシステムは、航空機にジャイロスコープ（Gyroscope）を載せて方向の変化を検知し、加速度計で加速度の変化を検知することにより、航空機の速度、位置を求めることが可能であり、これと地上の航行援助施設のデータを組み合わせ飛行するという、無人航空機の制御にはうってつけのシステムであった。1970 年、大型ジェット旅客機であるボーイング（Boeing）747 に、この INS が搭載された。データディスプレイに、緯度・経度の計算結果が自動的に表示されるシステムは画期的であり、機体価格が 70 億円であったボーイング 747 に対し、INS は 1 億円を超える価格であったが、これにより、ボーイング 747 に航空士は不要となった（藤井 1995, 28）。

INS に加え、人工衛星から送られる電波により測位する「全世界測位システム（Global Positioning System）」、いわゆる GPS が 21 世紀に急速に普及し、自動車のカーナビゲーションが普及するのと同時に、高度な無人航空機制御が可能となったのである（藤井 1995, 33）。

最近では、無人で航空機を操縦することのできる「自立航法（Self-contained Navigation）」が実用化された。これは、INS や GPS のように、地上の航行援助施設や人工衛星のデータに依存せず、機上の航法装置により独力で飛行するシステムである。軍事目的の無人航空機においては、「自立航法」は、理想の航法といわれている。

3. 2 様々な乗り物の無人操縦

人類は、船舶、鉄道、自動車、航空機、潜水艦と、様々な乗り物を発明し利用してきた。そして、それらの乗り物によって、移動できる範囲を拡大し、移

動に必要な時間を短縮してきた。しかし、それらの利用に際しては、乗り物を操縦する人間が同乗していることが条件であった。

本論文では、無人航空機について考察している。しかし、乗り物を操縦する人間の役割をコンピュータで置換し、無人化する手法は、船舶、鉄道、自動車、潜水艦といった乗り物でも共通である。

ここでは、様々な乗り物の無人化を行うための制御について、その乗り物が移動できる次元に着目して分類し、無人航空機の制御と比較する。

様々な乗り物は、移動できる次元が限られており、その次元を超えて動くことはできない。

まず、鉄道であるが、これは、1次元の移動である。鉄道においては、車両は決められた線路の上を動き、線路が敷設されていない場所を移動することはできない。線路は2本平行して敷設されており、2次元的な広がりがあるようにも思われるが、車両は線路という束縛から逃れて自由に移動できないので、1次元と考える。また、ポイントで他の線路へ移る場合も、その後は1次元に戻るのので、鉄道は1次元の移動と考える。

次に、船舶は、2次元の移動である。船舶の場合、水面上を移動し、空中や水中を移動することはできない。川を上ると、水面の標高が上昇するので、3次元的な広がりがあるようにも思われるが、水面上という束縛から逃れて自由に移動できないので、船舶は2次元の移動と考える。

同じく、自動車も、2次元の移動である。自動車の場合、陸上を移動し、空中や水面上、地中や水中を移動することはできないので、2次元の移動と考える。

これに対し、航空機は、3次元の移動である。無論、航空機は地中や水中を移動することはできないが、空中は自由に移動することができる。そこで、航空機は、空中において3次元の移動と考える。

最後に、潜水艦も、3次元の移動である。潜水艦は陸上や空中を移動することはできないが、水中は自由に移動することができる。そこで、潜水艦は、水中において3次元の移動と考える。

図2に、乗り物の種類と移動次元の関係を示す。

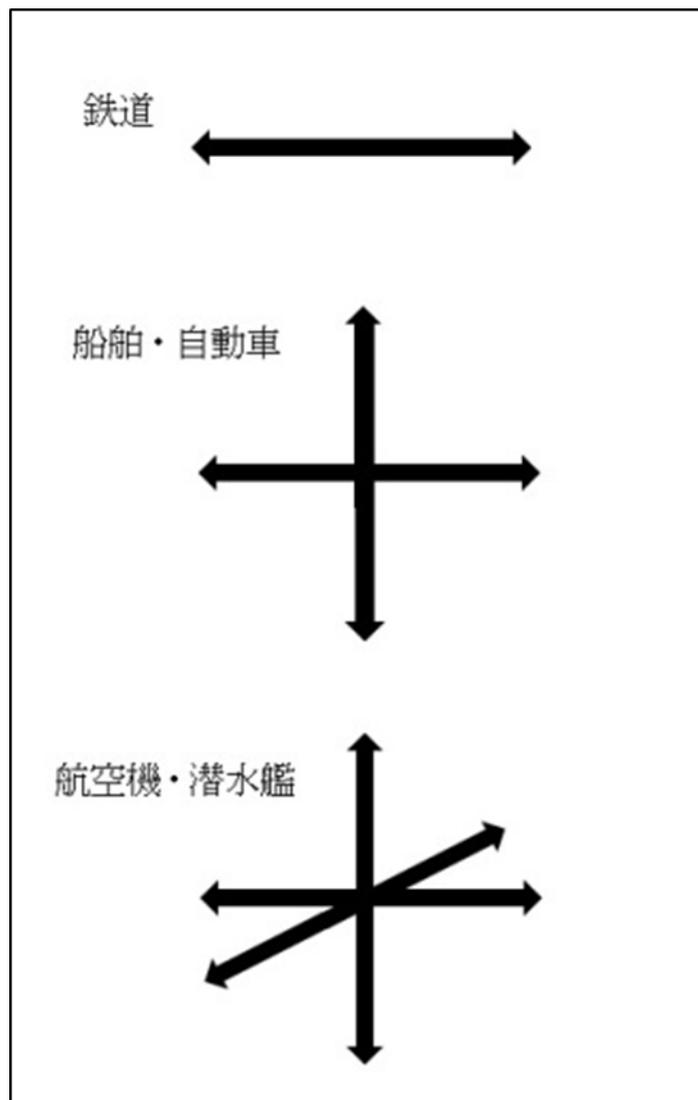


図2 乗り物の種類と移動次元
(出典：筆者作成)

3. 3 移動次元ごとの無人操縦

ここでは、乗り物を移動させるときに、乗客は乗せたまま、無人操縦を行う場合について、移動次元で分類し、操縦方法を考察する。

(1) 鉄道の無人操縦

東京で運用されている新交通システム「ゆりかもめ」は、閉じた専用軌道上を走行する無人運転交通機関である。図3に、ゆりかもめを示す。

列車には、自動列車運転装置 (ATO: Automatic Train Operation) が設置されて

おり、高架上に設置されたコンクリート製の軌道をゴムタイヤの車輪で走行する。各列車の位置は、中央制御室で把握し、制御するため、各列車には運転手がないシステムとなっている。



図3 無人運転交通システム「ゆりかもめ」

(出典：株式会社ゆりかもめメディア用写真
http://www.yurikamome.co.jp/core_sys/images/contents/00000169/block/00000740/00001044.jpg?1383712609)

国土交通省は、「ゆりかもめ」のような新交通システムの場合、公衆が軌道内に立ち入ることがなく、公衆による人身事故が起こり得ないため、無人運行交通システムとして、運転手なしで走行する認可を行っている。

しかし、無人運行を行う場合、公衆による人身事故は起こり得ないものの、有人運転のように、軌道内に人や小動物のような障害物を発見しても、急ブレーキをかけて、衝突を回避しようと試みることはしない。無人運転である「ゆりかもめ」では、人や障害物がいてもブレーキはかけない。そのため、軌道内作業員が「ゆりかもめ」に撥ねられ殉職する事故も発生している。

広島で運用されている新交通システム「アストラムライン」は、「ゆりかもめ」と同じく、高架上に設置されたコンクリート製の軌道をゴムタイヤの車輪で走行する。しかし、無人運転は行わず、有人運転を行っている。有人運転で運行

する場合、列車のドアと駅のホームドアとがぴったり一致する位置に停車させなければならない。そのため、運転手には、高い技量が要求される。「アストラムライン」の場合は、無人運転が可能であるにもかかわらず、人間の判断力を評価して有人運転を行っているものと考えられる。

図4に、「ワンマン」の表示をし、有人運転を行うアストラムラインを示す。



図4 有人運転交通システム「アストラムライン」
(出典：筆者撮影)

(2) 自動車の無人操縦

自動車の無人操縦は、交通事故を減らす切り札として現在開発が進められている。最も進んでいる日産自動車は、長年、マサチューセッツ工科大学 (MIT)、スタンフォード (Stanford) 大学、オックスフォード (Oxford) 大学、カーネギーメロン (Carnegie Mellon) 大学、東京大学などの大学と共同で自動運転技術の研究を行ってきており、日産自動車の複数の車種において、2020年の自動運転実用化を目指し開発中の段階にある⁴。

⁴ 日産自動車株式会社プレス発表「日産自動車、自動運転の取り組みを発表」(2013年8月28日)による。

自動車に搭載したカメラのよる画像と、自動車に搭載したレーダーにより、周囲の車、人、障害物等と自動車との位置関係を瞬時に把握し、安全に走行する方式が採用されている。また、近年急速に普及したカーナビゲーションシステムで利用されている、GPS を使った自動車の位置情報の把握技術も利用されている。

図5に、日産自動車が「CEATEC JAPAN 2013」において出展した、自動運転車の外観と運転席を示す。



図5 「CEATEC JAPAN 2013」日産出展の自動運転車（外観と運転席）
（出典：IT コンピュータ Report 「日産が自動運転車を国内初披露」
<http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/20131011/510548/016zu01.jpg>）

（3）航空機の無人操縦

航空機の自動操縦は、旅客機等においても、大部分の機種で実用化されている。パイロットは、長時間操縦をするが、その間、常に操縦桿を握っている必要はなく、離着陸時以外は自動操縦が行われている。

着陸時においても、自動着陸を行う能力を有する旅客機は多く、滑走路の様子が基準を満たしてさえいれば、現在でも自動着陸は可能である。1962年に初飛行したホーカーシドレー（Hawker Siddeley）社の旅客機 121 トライデント（Trident）に、自動着陸機能が初めて搭載された。これは、霧の発生が多いイギリスのヒースロー（Heathrow）空港のために導入されたもので、1966年に、自動操縦による着陸が初めて行われた。

離陸時において、自動離陸はあまり行われていない。無人航空機の場合は自

動離陸を行うことが多いが、旅客機では、離陸はパイロット自身が手動で行っている。

4. 無人航空機の歴史

この章では、無人航空機の歴史を振り返る。

4. 1 第一次世界大戦以降の無人航空機

(1) アメリカ

第一次世界大戦下、アメリカ軍は、80km 離れた目標を攻撃できる無人の飛行爆弾の開発をチャールズ・ケタリング (Charles Kettering) に依頼した。そして、複葉機に無線操縦装置を搭載した「ケタリング・バグ (Kettering Bug)」が開発され、1918 年、試験飛行を行った (Wagner 1992, 15)。図 6 に、ケタリング・バグを示す。



図 6 ケタリング・バグ

(出典 : Encyclopedia of Astrobiology, Astronomy, and Space Flight)

離陸は台車に載せて行い、制御は小型のジャイロスコープで行った。そして、約 190km/h で飛行するケタリング・バグは、目標上に到達するのに必要なエンジンの回転数に達すると、エンジンが停止し、翼を固定するボルトが落下して

81kg の爆弾が分離し、目標地点に落下する方式であった。ケタリング・バグが実戦に投入される前に、第一次世界大戦は終了したが、アメリカ軍はその存在と技術を秘密にした。ケタリング・バグは、世界初の攻撃無人航空機であった。

なお、ケタリング・バグとほぼ同時期に、同じく 80km 離れた目標を攻撃できる無人の飛行爆弾の開発が行われた。それが、カーチス・スペリー (Curtiss/Sperry) 飛行爆弾である。1918 年 6 月に初飛行したカーチス・スペリーは、ケタリング・バグの 5 倍の爆薬を積んで飛行する予定であった。また、自動車の上から射出する方式が、ケタリング・バグとの大きな相違点であった。

また、同時期の 1918 年には、イギリスのエクスペリメンタル (Experimental) 社が標的無人航空機を、1924 年には、アメリカ陸軍航空工兵隊 (Army Air Corps Engineering Division) が、遠隔操縦制御の無人航空機を開発している。

図 7 に、自動車から射出するカーチス・スペリーを示す。



図 7 自動車から射出するカーチス・スペリー
(出典 : Encyclopedia of Astrobiology, Astronomy, and Space Flight)

(2) イギリス

イギリスのデハビランド (de Havilland) 社は、1933 年、有人複葉機として実績のあった「タイガーマス (Tiger Moss)」に、無線誘導装置と接続された操縦装置を搭載した標的無人航空機「クイーンビー (Queen Bee)」を開発し、1935 年に初飛行させた。離陸後、人間が操縦を行うことができないケタリング・バ

グとは異なり、クイーンビーは無線操縦であったため、有人の航空機と同じく、臨機応変に操縦することが可能であった。その後、1943年までに420機が生産された。

1935年6月27日の大阪朝日新聞に、クイーンビーの記事が「操縦者なしのラジオ飛行機」「その軍事上の価値は注目されている」と紹介されている。このように、無人航空機の存在は、日本人にとっても大きな驚きであった。

図8に、クイーンビーと遠隔操縦装置を示す。



図8 クイーンビーと遠隔操縦装置
(出典：Encyclopedia of Astrobiology, Astronomy, and Space Flight)

(3) ドイツ

第一次世界大戦に敗れたドイツは、ヴェルサイユ条約により、武器の開発・製造を禁止された。その中で、無人航空機である紙飛行機を制作することにより、He111やJu88等の有人双発爆撃機が開発されていった。

ドイツはその後、軍事目的の無人航空機を開発することになる。そして、現在の無人航空機の自動操縦技術は、元をたどれば、ドイツの第二次世界大戦の技術開発に行き当たる(今井2001, 188)。

4. 2 第二次世界大戦時の無人航空機

(1) ドイツ

ドイツで開発され、第二次世界大戦で実際に使用された無人航空機の代表が、V1である(今井 2001, 99)。V1は、ドイツ空軍の開発したパルスジェットエンジン推進式のジェット爆弾 Fi103 であり、ドイツの宣伝相であったゲッベルス(Goebbels)が「報復兵器 1 (Vergeltungswaffe 1)」と命名した。V1は、ジャイロスコープで飛行方向を検知し、気圧高度計で飛行高度を調整し、プロペラの回転数で飛行距離を決定する制御方式となっていた。連合国によるノルマンディー上陸作戦が開始された 1944 年 6 月、フランスから発射された V1 は、ドーバー海峡を越えてイギリスの首都ロンドンに向けて飛行した。実際に発射されたのは 21770 発であり、その内、設定された目標に命中したのは、1/3 程度であったとされる(今井 2001, 101)。制御方式が充分でなく、目標に到達できなかったものも多いが、パルスジェットエンジンは騒音が大きく位置を特定されやすく、飛行速度も約 600km/h とそれほど高速ではなかったため、イギリスの有人戦闘機に機銃で撃墜されたり、強引に方向を変えさせられることもあった。図 9 に飛行する V1 を示す。また、図 10 に、イギリス軍の有人戦闘機スーパーマリン・スピットファイア(Supermarine Spitfire)が V1 の飛行方向をロンドン市街地以外に変更した写真を示す。



図 9 V1 (Fi-103)
(出典：今井 2001, 97)

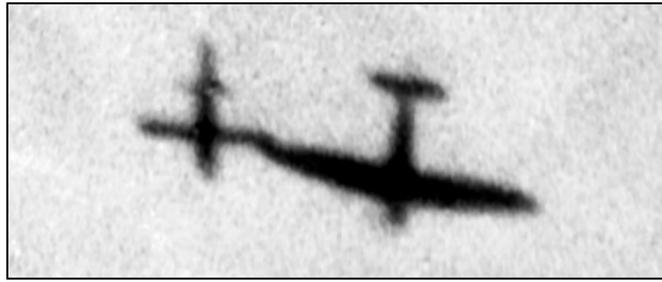


図 1 0 スピットファイヤ (右) に方向を変えられる V1 (左)
(出典：今井 2001, 97)

ドイツで開発され、第二次世界大戦で実際に使用されたもう一つの無人航空機の代表が、V2 である (今井 2001, 142)。V2 は、ドイツ陸軍の開発したロケット推進式のジェット爆弾 A4 であり、V1 と同じく、ゲッベルス (Goebbels) が「報復兵器 2 (Vergertungswaffe 2)」と命名した。V2 は、慣性航法を採用していた。複数のジャイロスコープで機体の前後左右の傾きを検知し、加速度計が飛行中も加速度を検知し、機内の計算機が積分して飛行速度を求め、それら傾きや速度の実測値と予測値との差から、尾翼の安定板の外側下部にある空力舵とノズルのすぐ下の噴流舵を制御して、予定の飛行進路に制御する方式であった (今井 2001, 143)。現在の弾道ミサイルにも使われている弾道飛行が可能な V2 は、目標到達率が 70~80%、到達誤差が数 km と、V1 とは比較にならないほど命中率が高かった。V2 は、1944 年 9 月からロンドンに向けて 1358 発が発射された。V1 と異なり、V2 は、ロケットエンジンにより音速を超える速度で飛行するため、命中して爆発した後に飛来音が聞こえるなど位置が特定されにくく、また、イギリスの亜音速でしか飛行できない有人戦闘機が撃墜することは不可能であった。そのため、V2 はロンドン市民を恐怖の底にたたき落とした。図 1 1 に V2 を示す。



図 1 1 V2 (A4)
(出典：今井 2001, 111)

V2 に使用された慣性航法とロケットの技術は、第二次世界大戦後のアメリカ・ソ連の軍事技術に引き継がれた。開発にあたった一団のうち、フォン・ブラウン (von Braun) たち指導的立場の技術者は、ドイツ敗戦時進んでアメリカ軍に投降し、それ以外の技術者は、ソ連軍に連行された (今井 2001, 118)。

アメリカに投降したフォン・ブラウンは、陸軍で高さ約 20m、3 段式のレッドストーン (Red Stone) ロケットを開発し、その後、レッドストーンを改良したジュピターC (Jupiter-C) ロケットで、1958 年に、西側諸国で初めて人工衛星エクスペローラー1号 (Explorer-1) を打ち上げることに成功した。さらに、NASA に移ったフォン・ブラウンが開発したサターン (Saturn) ロケットにより打ち上げられたアポロ (Apollo) 11 号は、1969 年、人類を初めて月面まで送ることに成功した。

他方、第二次世界大戦後、ソ連に連行されたドイツ人技術者たちの高い技術と、V2 ロケット工場から持ち出された図面により、ソ連は V2 ロケットの複製である R-1 を制作し、その後、R-1 の改良型である R-2 ロケットを開発した。R-2 が、ドイツ人技術者たちの影響が残る最後のロケットであった。

(2) アメリカ

アメリカでは、陸軍が表1のように無人航空機を6つに分類して研究・開発を行っていた。

この中で、本論文では、2番目の、地上発進式の無線操縦無人機に相当するBQ（誘導爆弾）について詳述する。

アメリカ陸軍は、前述のクイーンビーを1935年に購入し、標的無人航空機として利用していたが、独自の開発は行っていなかった。しかし、第二次世界大戦が勃発し、日本も参戦した後の1942年、アメリカ空軍の前身であるアメリカ陸空軍が、「空中魚雷」開発プログラムを開始し、フリートウィングス(Fleetwings)社が受注したことによって、アメリカにおける無人航空機の開発が始まった。

命名	命名種類	機能
BG	爆装グライダー (Bomb Glider)	爆発性の弾頭を装備した滑空機
BQ	誘導爆弾 (Guided Bomb)	地上発進式の無線操縦無人機
GB	滑空爆弾 (Glide Bomb)	誘導爆弾
GT	滑空魚雷 (Glide Torpedo)	魚雷を装備する誘導爆弾
JB	ジェット爆弾 (Jet Bomb)	ミサイル
VB	垂直爆弾 (Vertical Bomb)	誘導爆弾

表1 合衆国陸軍命名規則による無人航空機の種類

「空中魚雷」とは、無人航空機の機内に爆薬を満載し、敵の重要な攻撃目標に無人で突入させて破壊するというものである。フリートウィングス社は、1944年に、最初の無人航空機となるBQ-1の試作機XBQ-1⁵を開発製造し、初飛行させたが、墜落し機体は失われた。BQ-1は、約900kgの爆薬を内蔵する予定であった。図12に、XBQ-1を示す。

⁵ アメリカ軍では、試作機に対しては、型番の頭にXの接頭辞を付加するよう定められている。



図1 2 フリートウィングス XBQ-1
(出典：Bowers 1989)

その他に、フリートウィングス BQ-2、フェアチャイルド (Fairchild) BQ-3、インターステート (Interstate) BQ-4、BQ-5、BQ-6が開発された。

第二次世界大戦において、アメリカは、ボーイング (Boeing) 社の開発した B-17 フライングフォートレス (Flying Fortress) という有人四発重戦略爆撃機を使いドイツを空襲した。しかし、ドイツ軍の徹底した反撃により、B-17 の損耗率は極めて高く、パイロットをはじめとして、多くの人命が失われた。

図1 3に、B-17 フライングフォートレスを示す。



図1 3 B-17 フライングフォートレス
(出典：野原 2002, 11)

アメリカ軍が、貴重な人命を失うことなく、V1 発射基地のようなドイツ軍の重要目標を破壊するために、爆薬を積んで目標に無人で突入を行うという計画のために開発した無人航空機が、ボーイング BQ-7 アフロディーテ (Aphrodite) である。BQ-7 は、四発重戦略爆撃機 B-17 を、自動操縦と遠隔操作が無人で可能なように改造した機体である。

この計画では、無人航空機 BQ-7 に約 9000kg の爆薬を積み、BQ-7 を遠隔操縦装置で遠隔操作するため同行する B-17、および、BQ-7 の制御が失われたときに BQ-7 を撃墜し味方への被害を防止するための戦闘機とセットで運用されることになっていた。

その当時の航空制御技術水準では、無人で BQ-7 を離陸させることはできなかった。そこで、最初は BQ-7 にパイロットとエンジニアの 2 名の搭乗員が乗り込み、離陸と上昇操作、水平飛行への移行、信管の設定までを行った後、2 名の搭乗員がパラシュートを使って脱出降下し、その後は、同行する B-17 に乗り込んだオペレーターが、電波によって BQ-7 を遠隔操作する無人航空機として飛行させた。図 1 4 の BQ-7 を見ると、搭乗員が脱出しやすいように、B-17 には存在するキャノピーが取り外されている。



図 1 4 キャノピーが外されたボーイング BQ-7
(出典：Bowers 1989)

BQ-7によるアフロディーテ計画は、1944年8月から1945年まで続けられた。しかし、自動操縦装置と遠隔操作装置の不具合により、大きな戦果は得られなかった。確かに、アフロディーテ計画は、理論上は良いアイデアであったが、使用する自動操縦、遠隔操作の機器が、運用に耐えられるまで進歩していなかったということができる。

アメリカ軍は、コンソリデーテッド（Consolidated）社の開発したB-24リベレーター（Liberator）も無人航空機に改造し、BQ-8として使用しようと試みた。

図15に、B-24リベレーターを示す。



図15 B-24リベレーター
（出典：野原2002, 33）

4. 3 第二次世界大戦後の無人航空機

（1）余剰生産有人航空機の無人航空機への転換

第二次世界大戦後、レシプロエンジン（Reciprocating Engine）⁶を動力とする多くの有人戦闘機・爆撃機が余剰品になるという事態が生じた。それと同時に、レシプロエンジンよりも推力の大きいジェットエンジンを動力とする有人航空

⁶ シリンダの中で燃料を燃焼させ、その膨張エネルギーを、ピストンを用いて往復運動に変換し、ついで回転エネルギーとして取り出すタイプのエンジンである。

機の性能が急速に向上し、レシプロエンジンを動力とする有人航空機は、性能面で劣ってしまった。

そこで、レシプロエンジンを搭載し、旧型化したグラマン（Gurmmann）社の F6F ヘルキャット（Hellcat）戦闘機を、無人航空機として活用する計画が始まり、実戦に投入された。無線操縦の標的無人航空機に改造されたのが F6F-5D であり、無線操縦の攻撃無人航空機に改造されたのが F6F-5K である。F6F-5K は、爆弾を抱えたまま敵陣に突入する「飛行爆弾」であった。

改造は、F6F の搭乗席の後方に、無線操縦装置を追加するというものであった。そして、操縦は、F6F に同行する無線操縦母機に搭乗した乗組員が、空中から誘導操作を行う計画であった。

図 1 6 に、F6F ヘルキャットを示す。



図 1 6 F6F ヘルキャット
(出典：安藤他 2012, 46)

1950 年に勃発した朝鮮戦争では、空母から爆装した無人の F6F を離陸させ、同時に飛行する複座艦上攻撃機 AD2Q スカイレーダー（Skyraider）の後部座席の無線操縦要員が、F6F を無線で遠隔操縦しながら敵陣に突入させた。

退役した有人航空機を、標的無人航空機に改修することは、その後も行われてきた。マクダネルダグラス（McDonnell Douglas）社の F-4 ファントム（Phantom）

II 戦闘機は、QF-4 として標的無人航空機に改修された。また、現在も第一線で
使用されているジェネラルダイナミクス (General Dynamics) 社の F-16 も、退
役した機体から、QF-16 として標的無人航空機に改修され始めている。

図 1 7 に、QF-4 改造対象となった F-4E を、図 1 8 に、QF-16 改造対象となる
F-16C を示す。



図 1 7 F-4E
(出典：安藤他 2012, 208)



図 1 8 F-16C
(出典：安藤他 2012, 215)

(2) 亜音速無人航空機ファイアビー I

第二次世界大戦後の 1946 年、アメリカ空軍は、誘導ミサイル部門 (Guided Missiles Section) を創設した。そして 1948 年、ライアン (Ryan) 社は、アメリカ空軍のファイアビー (Fire Bee) 開発を受注した。これは、既存の有人航空機を改造して無人航空機にするのではなく、新規に、亜音速⁷の無人航空機を開発しようとする計画であった。

最初に開発した Q-1 の目標は 560km/h、次に開発した Q-2 は、900km/h と音速に迫る目標を掲げていた。図 19 に、ファイアビー Q-2 を示す。



図 19 ファイアビー Q-2
(出典：Wagner 1982, 16)

ファイアビー Q-2 は、強力な J-69 ジェットエンジンにより、高度 12000m で速度 960km/h で飛行することができた。この性能が認められ、Q-2 は、1951 年までに、アメリカ空軍、海軍、陸軍が共に採用することとなった。また、1956 年にはカナダが採用した。1950 年代後半には、ライアン社は、第二世代の Q-2 (モデル 124) を開発し、Q-2C と呼ばれることになった。1963 年には、BQM-34A と命名され、1971 年までに 4068 台が製造され、ファイアビーはその黄金期を迎

⁷ 亜音速は、音の速さを超えない速度を指す。1947 年に、チャック・イェーガーが超音速で飛行するまで、すべての航空機は亜音速で飛行していた (Wagner 1992, 20)。音速を超えると、衝撃波が発生するため、航空機にとって亜音速と超音速の空力特性は大きく異なる。

えた (Wagner 1992, 16)。日本でも、海上自衛隊が、ファイアビーの運用を目的として訓練支援艦「あずま」を建造し、対空・対水上射撃訓練のための標的目的無人航空機として、ファイアビーBQM-34AJ を 3 機搭載し使用した。現在でも、訓練支援艦「くろべ」と「てんりゅう」で、ファイアビーBQM-34AJ 改が運用されている。

図 2 0 に、「てんりゅう」で運用されているファイアビーBQM-34AJ 改を示す。



図 2 0 ファイアビーBQM-34AJ 改
(出典：筆者撮影)

Q-2 は、亜音速を超えることはなかったファイアビーなので、後述の音速を超えたファイアビーⅡと区別するために、ファイアビーⅠと呼ばれる。

初飛行以来 60 年以上が経過した現在でも、ファイアビーⅠは、標的目的無人航空機として現役で使用され続けている。

(3) 超音速無人航空機ファイアビーⅡ

有人航空機では、1954 年、ロッキード (Lockheed) 社が XF104 の初飛行を行い、その後、アメリカ空軍にロッキード F-104 スターファイター (Starfighter) として正式採用された。前線で使用する軽戦術戦闘機である F-104 は、世界初の実用最高速度マッハ 2 で飛行が可能であった。鉛筆のように細い胴体に薄く小さい翼を備えた F-104 は、最後の有人戦闘機と自称し (小野 1966, 170)、その後は無人戦闘機の時代が到来するかのような勢いであった。しかし、実際には、それ以降も有人戦闘機ばかりが作られ続けた。図 2 1 に、F-104 スターファイター

一を示す。



図 2 1 F-104 スターファイター
(出典：安藤他 2012, 203)

1962 年、ライオン社は、新規に、超音速で飛行可能な無人航空機を開始し、1965 年にアメリカ海軍とファイアビー II (モデル 166) として開発契約を行った。そして 1968 年、ファイアビー II は初飛行し、アメリカ海軍向けは BQM-34E、アメリカ空軍向けは BQM-34F と命名された (Wagner 1992, 21)。図 2 2 に、ファイアビー II を示す。



図 2 2 ファイアビー II
(出典：Wagner 1982, 24)

ファイアビーⅡは、機体の先端をとがらせ、音速を突破する速度での飛行を可能にした。

このように、第二次世界大戦を経て、無人航空機は、より小型に、より安価に、有人航空機よりさらに操縦しやすくする方向で開発が進められた。

(4) ファイアブランド

対艦ミサイルの目標となる無人航空機としてライアン社が開発したのが、ファイアブランド (Fire Brand) である。1977年、ファイアブランド ZBQM-111A は、最大マッハ (Mach) 2.1 の速度⁸を達成した。ファイアブランドの発射は固体燃料ロケットで行い、巡航はラムジェット (Ramjet) 推進で行った。

図 2 3 に、ファイアブランド ZBQM-111A を示す。



図 2 3 ファイアブランド ZBQM-111A
(出典 : Wagner 1992, 123)

(5) ファイアボルト

1970年代、アメリカ空軍はライアン社に、高高度超音速目標 (HAST : High Altitude Supersonic Target) となる無人航空機の開発を依頼し、ハイブリッドエンジンを搭載したファイアボルト AQM-81A (Firebolt) が開発された。ファイアボルトは、高度 30000m まで到達し、マッハ 4 で飛行することのできる無人航空機であった (Wagner 1992, 125)。図 2 4 に、ファイアボルト AQM-81A を示す。

⁸ 音速と同じ速さをマッハ 1 と定義している。

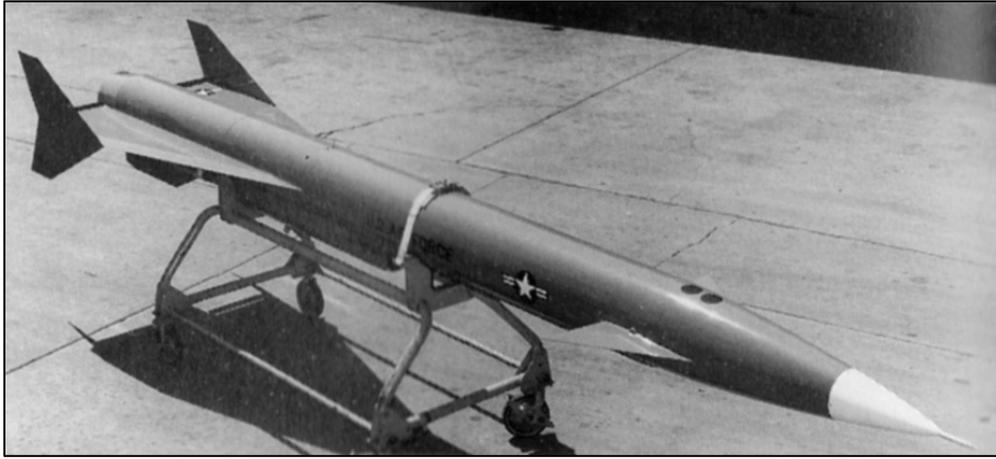


図 2 4 ファイアボルト AQM-81A
(出典 : Wagner 1992, 125)

このように、ライオン社は多くの無人航空機の開発を行ってきた。ファイアビー I、ファイアビー II、ファイアブランド、ファイアボルトの飛行領域を図 2 5 に示す。

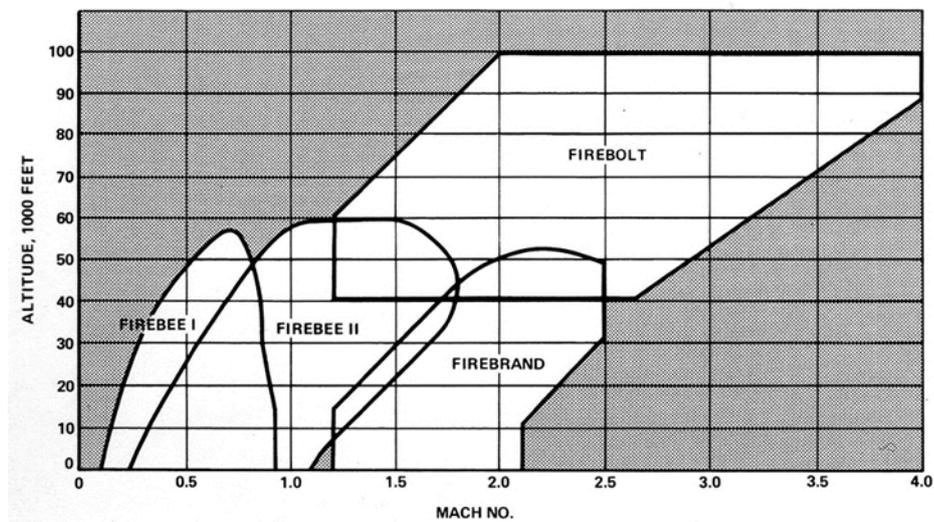


図 2 5 ファイアビー I・II、ファイアブランド、ファイアボルトの飛行領域
(出典 : Wagner 1992, 124)

航空機における飛行領域 (Flight Region) は、横軸に飛行速度、縦軸に飛行高度をとり、どの飛行速度ならばどの飛行高度を取りうるかについてグラフ化したものである。図 1 2 によると、亜音速域についてはファイアビー I、マッハ 1 程度の超音速域についてはファイアビー II、マッハ 2 程度の超音速域について

はファイアブランド、高高度の超音速域についてはファイアボルトが対応していることがわかる。

(6) ダッシュ

1960年代、アメリカ海軍は、無人対潜ヘリコプターであるダッシュ（DASH : Drone Anti-Submarine Helicopter）を開発し、小型の艦艇に搭載していた。ジャイロダイン（Gyrodyne）社の無人ヘリコプターQH-50 ダッシュは、小型軽量の機体であり、機体の下部には、対潜水艦用の魚雷を装備していた。そして、艦艇に設けた簡単な飛行甲板から、無線誘導で飛行させることができた。

しかし、無人航空機の操縦の困難さから、多くの期待が損耗し、1969年にはアメリカ海軍の一線から退いた。

なお、日本の海上自衛隊も、艦艇で運用するためにQH-50 ダッシュを20機購入したが、その後運用を中止した。

図26に、ジャイロダインQH-50ダッシュを示す。



図26 ジャイロダインQH-50ダッシュ
(出典：Simpson 1998)

5. 現代の無人航空機

前章で述べたように、アメリカを中心に研究・開発が進められてきた無人航空機は、21世紀に入り、大きさや性能も変化し、より高性能な方向へと向かっている。ここでは、現代の無人航空機の現状について述べる。

5. 1 アメリカ

20世紀から、多くの無人航空機の研究を続けてきたのはアメリカである。ここでは、アメリカが採用したり研究を行っている無人航空機について述べる。

(1) RQ-1 (MQ-1) プレディター

アメリカ軍が現在運用している無人航空機の中で、偵察機として最も有名なものが、ジェネラルアトミックス (General Atomics) 社の開発した、RQ-1 プレディター (Predator) である。中高度から低高度を飛行し、敵地上空で偵察を行う目的で開発され、1995年に実戦配備されて以来、ボスニア、アフガニスタン、パキスタン、イラン、イエメンの上空で使用されている。

RQ-1の特徴は、小型であり、静寂であり、航続時間が極めて長いことである。操作は、地上にいるパイロットとオペレーターの2名で行う。RQ-1はレシプロエンジンを採用しており、時速110~145km/hと低速である。

ボスニアで実戦投入された当初は、基地の滑走路の近くの自動車の中から遠隔操作する必要があったが、2000年以降は、アメリカ本土から遠隔操作することができるようになった。また、自立航法を確立しており、基地と目的地の往復の間は、パイロットがマニュアルで操縦する必要はない。そのため、40時間以上の航続時間であっても、パイロットの疲労は少なく済む。

2002年には、RQ-1 プレディターは偵察に加え、攻撃を行うように任務が拡大され、名称も、MQ-1に変更された⁹。これは、偵察任務で発見した攻撃対象を、他の攻撃機を呼ぶことなく、プレディター自身が攻撃できるようになることを

⁹ Rは偵察を、Qは無人機を意味する記号であり、Mは多目的を意味する記号である。

意味する。図 2 7 に、MQ-1 プレディターを示す。



図 2 7 MQ-1 プレディター

(出典：アメリカ空軍メディア用写真

<http://media.dma.mil/2003/Aug/19/2000597903/-1/-1/0/030813-F-8888W-006.JPG>)

さらに、2008 年には、RQ-1 を改良した RQ-1C グレイイーグル (GrayEagle) が開発された。外形は RQ-1 プレディターとほぼ同じであるが、敵目標を捕捉する能力と、火力を倍にしたことが特徴であり、アメリカ陸軍が採用し、アフガニスタンで現在運用されている。

図 2 8 に、MQ-1 グレイイーグルを示す。



図 2 8 MQ-1C グレイイーグル
(出典：佐藤 2012, 33)

(2) RQ-2 パイオニア

イスラエルの AAI 社とイスラエル・エアロスペース・インダストリーズ (Israel Aerospace Industries) 社が開発し、1986 年にアメリカ軍が採用した無人航空機が、RQ-2 パイオニア (Pioneer) である。全翼 5.15m の機体に、写真を撮影する機材を積み、リアルタイムに写真を送る能力を持つ。

湾岸戦争においても RQ-2 パイオニアは実戦で使用され、イラク軍の兵士の写真を撮影し、アメリカに送信する役割を果たした。

図 2 9 に、RQ-2 パイオニアを示す。



図 2 9 RQ-2 パイオニア
(出典：佐藤 2012, 83)

(3) RQ-3 ダークスター

ロッキード・マーティン社とボーイング社が開発していた RQ-3 ダークスターは、1996 年に初飛行を行った無人航空機である。完全な自立航法を採用し、離陸から、目的地までの飛行、センサーの操作、情報の伝達、基地への帰還飛行、着陸までのすべてを、人間の遠隔操作無しに行うことができた。また、敵に探知されにくくするため、ステルス (Stealth) 技術も使われていた。

このように、先進的な技術を盛り込んだ RQ-3 機体であったが、翼幅が 21.3m に達する割に全長が 4.6m と短く、空気力学的に不安定な機体であり、開発が遅延を重ねることとなった。そのため、1991 年には計画が破棄され、その役割は、後述の RQ-4 グローバルホークに引き継がれることとなった。

図 3 0 に、RQ-3 ダークスターを示す。

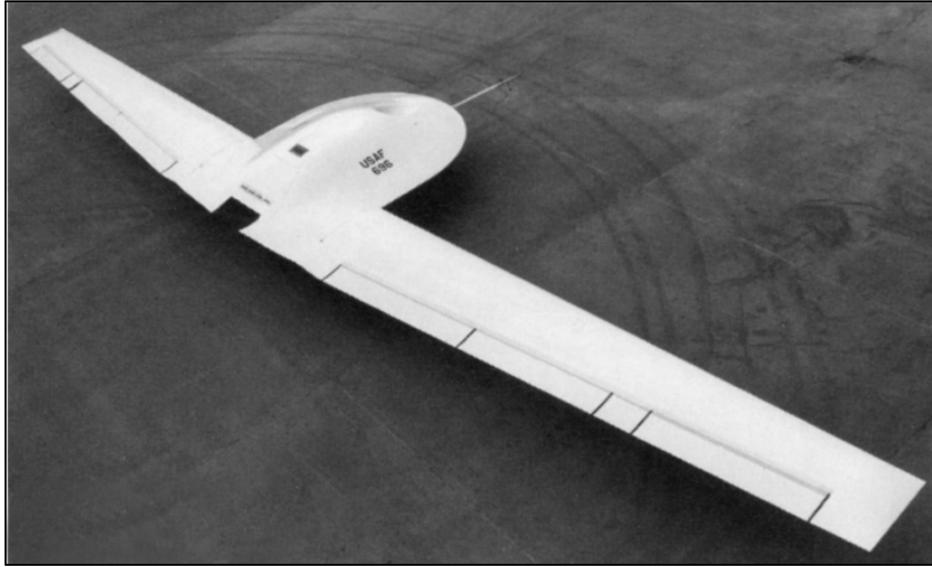


図30 RQ-3 ダークスター
(出典：青木他 2012, 63)

(4) RQ-4 グローバルホーク

アメリカ軍は、高高度を飛行しつつ偵察を行う目的で、RQ-4 グローバルホーク (Global Hawk) を開発した。約 20000m の高度を最大 36 時間飛行できる能力を有し、2001 年、アフガニスタンでの偵察活動に使用されて以来、広範囲を同時に偵察できる機体として本格運用されている。高高度での長時間飛行を可能にするために、全幅は 35m と極めて大きく、グライダーに似た形状が採用された。現在使用しているのはアメリカ軍だけであるが、将来的に日本の航空自衛隊も導入を検討している。

また、海上を哨戒する任務のために、アメリカ海軍が、RQ-4 の発展型である MQ-4C トライトン (Triton) の開発を進めている。無人で広大な海上を哨戒できれば、従来の有人航空機で哨戒する場合に比べ、人的負担が軽くなる。また、アメリカ空軍の RQ-4 と共通部分が多く、整備で共通化できる。これらの理由で、2015 年から MQ-4C 運用が予定されている。

図 3 1 に、RQ-4 グローバルホークを示す。



図 3 1 MQ-4 グローバルホーク

(出典：アメリカ空軍メディア用写真

<http://media.dma.mil/2010/Aug/06/2000336767/-1/-1/0/090304-F-3192B-401.JPG>)

(5) RQ-7 シャドウ

イスラエルの AAI 社が開発した RQ-7 シャドウ (Shadow) は、陸上部隊による情報収集のための無人航空機である。1991 年に初飛行し、1999 年にアメリカ陸軍に採用された。

RQ-7 は、細い双胴の間に推進型プロペラエンジンを持つ形状である。離陸は、専用のカタパルトから射出する形で行い、着陸はアスレティングワイヤに機体を引っ掛ける形で行う。

RQ-7 は、全翼が 4.3m と、RQ-1 プレディターより小型であり、運用も容易である。そのため、偵察型のみでなく、攻撃型の開発も進められている。

図 3 2 に、RQ-7 シャドウを示す。



図 3 2 RQ-7 シャドウ
(佐藤 2012, 34)

(6) MQ-8 ファイアスカウト

無人航空機の開発に長い歴史を持つライアン社は、1999 年、ノースロップグラマン社に買収され、その一部門となった。そして、2000 年には、ノースロップグラマン社の試作した、無人ヘリコプター RQ-8A ファイアスカウト (Fire Scouts) が初飛行した。この RQ-8A は、民間の有人ヘリコプターであるシュワイザー (Schweizer) 330 をベースに、偵察無人航空機に改造したものである。そして、2006 年、アメリカ海軍の艦艇に、無人ヘリコプターとして初めて自立飛行により着艦することに成功した。その後、シュワイザー 333 をベースに、偵察も攻撃もできる多用途無人航空機に改造された MQ-8B が開発されたが、いずれもピストンエンジンで非力であり、その後、有人ジェットヘリコプターであるベル (Bell) 407 を改造した、MQ-8C が開発された。アメリカ海軍は、2013 年に MQ-8C の運用を開始する。

図 3 3 に、MQ-8C ファイアスカウトを示す。



図33 MQ-8C ファイアスカウト

(出典：ノースロップグラマン社メディア用写真

http://www.northropgrumman.com/Photos/pgL_MQ-10027_018.jpg)

(7) MQ-9 リーパー

アメリカ軍が、MQ-1 プレディターと併用して 2007 年から運用している兵器運搬無人航空機が、ジェネラルアトミックス社の開発した MQ-9 リーパー (Reaper) である。エンジンはターボプロップとなり、速度は時速 240~420km/h と高速化した。機体も大きくなり、主翼下に武器を取り付けるための装置が 6 ヶ所設けられた。

このように、MQ-9 は、MQ-1 よりも攻撃能力が向上しているが、運用コスト、調達コストも上昇した。そのため、MQ-9 と MQ-1 はハイローミックス¹⁰の思想

¹⁰ ハイローミックスは、アメリカ軍において、費用対効果を高めるために、ハイ（高価で高性能な機体）とロー（安価で低価格な機体）を併用する思想を指す。20 世紀後半に、アメリカ空軍の戦闘機を選定するときも、ハイとして F-15、ローとして F-16 の 2 機種が採用された。

に基づき併用されている。

図 3 4 に、MQ-9 リーパーを示す。



図 3 4 MQ-9 リーパー

(出典：アメリカ空軍メディア用写真

<http://media.dma.mil/2006/Sep/14/2000542967/-1/-1/0/060913-F-9876J-111.JPG>)

(8) RQ-11 レイブン

エアロバイロンメント (Aero Vironment) 社が開発し、アメリカ陸軍、海兵隊、空軍に採用されているのが、RQ-11 レイブン (Raven) である。全幅 1m、重量 2kg という小型の無人固定翼航空機であり、手で投げる方式¹¹を採用している。飛行中は、二次電池の電力で電動モーターを駆動し、機体のプロペラを回して推力を得る。

また、市販のノートパソコンを制御ステーションとして使うことが可能であり、ボタンを押すと、発進した位置に自動的に帰還する機能を備えている。

RQ-11 レイブンは、1機の価格が約 35000 ドルと安価であり、アメリカ軍で無人航空機が大量に使用される理由の一つが低コストである。

図 3 5 に、RQ-11 レイブンを示す。

¹¹ ハンドローンチ (Hand Launch) という、紙飛行機を投げ上げるのと同じ方法である。



図 3 5 RQ-11 レイブン

(出典：アメリカ陸軍メディア用写真より作成
<http://www.army.mil/-images/2010/05/03/72096/size0-army.mil-72096-2010-05-03-110540.jpg>)

(9) RQ-14 ドラゴンアイ

RQ-11 レイブンを開発したエアロバイロンメント社は、RQ-14 ドラゴンアイ (Dragon Eye) も開発し、この機種もアメリカ軍で採用されている。

RQ-14 ドラゴンアイは、全幅 1.1m、重量 2.3kg であり、RQ-11 レイブンよりもやや大型である。そこで、市販のバンジーコード (Bungee Cord) を使い、空に打ち出す。これにより、約 1 時間の偵察飛行が可能であり、2003 年のイラク戦争において実戦投入された。

図 3 6 に、RQ-14 ドラゴンアイを示す。



図36 RQ-14 ドラゴンアイ

(出典：アメリカ海兵隊メディア用写真より作成

<http://media.dma.mil/2006/Jul/11/25154/-1/-1/0/060711-M-0000C-000.jpg>)

(10) RQ-16 タランチュラホーク

ヘリコプター型ではない無人航空機として、アメリカ陸軍が2008年に採用したのが、ハニウェル(Honeywell)社のRQ-16 タランチュラホーク(Tarantula Hawk)である。T-ホークとも呼ばれるこの機種は、G-MAV(ガソリンエンジン式マイクロエアビークル)であり、ダクテッドファン方式を採用している。ダクテッドファン方式とは、ガソリンエンジンにより、二重反転のダクテッドファンを回して浮上する方式であり、吹き出す方向を変えることにより、横に移動することができる。二重反転にしているのは、トルクを打ち消すためである。また、比較的構造が複雑で縦長の機体になるという特徴がある。

RQ-16 タランチュラホークの最高速度は74km/hであり、比較的低速であるが、プロペラやローターが露出していないため、墜落しても、人的被害が少なく済むという利点があるとされている(石川2012b, 209)。

RQ-16 タランチュラホークは、アメリカ海軍も採用するとともに、イギリス陸軍も数機を購入し、評価を行っている。

図37に、RQ-16 タランチュラホークを示す。



図 3 7 RQ-16 タランチュラホーク

(出典：ハニウェル社メディア用写真

[https://commerce.honeywell.com/wcsstore/B2BDirectMyAerospaceAssetStore/images/catalog/T
HAWK%20MAV_1_800x800.jpg](https://commerce.honeywell.com/wcsstore/B2BDirectMyAerospaceAssetStore/images/catalog/T
HAWK%20MAV_1_800x800.jpg))

(1 1) RQ-18 ハミングバード

フロンティアシステム (Frontier System) 社は、無人ヘリコプターの設計を行っており、2002 年、A160 ハミングバード (Hamming Bird) が初飛行にこぎつけた。その後、フロンティアシステム社は 2004 年にボーイング社に買収され、開発は続行されたが、A160 ハミングバードのピストンエンジンが非力であり、エンジンをプラットアンドホイットニー・カナダ社製の PW207D ターボシャフトエンジンに換装したものが、A160T ハミングバードと命名された。今後、アメリカ陸軍において運用評価が行われ、最終的には、RQ-18 として採用される予定である (石川 2012a, 77-78)。

図 3 8 に、A160T ハミングバードを示す。



図 3 8 A160T ハミングバード
(出典：石川 2012a, 78)

(1 2) RQ-21 インテグレーター

アメリカ海軍の戦術小型無人航空機 (STAUS) 計画に、インシツ (Insitu) 社が応募し、2010 年に採用されたのが RQ-21 インテグレーター (Integrator) である。スキャンイーグルの後継機種となる予定であり、2 枚の垂直尾翼を結ぶ形で水平尾翼が設けられている。発射は、圧縮空気を用いたシステムを利用しており、スカイフックによる回収にも対応している。

図 3 9 に、アメリカ海兵隊で試験中の RQ-21 インテグレーターを示す。



図 3 9 RQ-21 インテグレーター

(出典：アメリカ海兵隊メディア用写真より作成)

<http://www.hqmc.marines.mil/News/NewsArticleDisplay/tabid/3488/Article/145381/rq-21a-small-uas-completes-first-east-coast-flight.aspx>

(1 3) X-45A (X45-C)

これまで存在しなかった無人戦闘機 (UCAV : Unmanned Combat Air Vehicle) を実現するために、実験機として研究されたのが、ボーイング社の X-45A である。全翼機である X-45A は、スラストベクターシステムにより垂直尾翼が不要となった (Jenkins 2004, 134)。2002 年初飛行後、16 回飛行したが、X-45B 計画はキャンセルされ、大型化し、後縁をギザギザに変更した X-45C 計画が実行に移された。X-45C は 2007 年初飛行したが、X-45 計画自体は、アメリカ空軍からもアメリカ海軍からもキャンセルされた。

無人戦闘機の利点は、パイロットの耐えられる限界である $6G^{12}$ を大きく超える G を発生させるような高い機動性を手に入れることができる点、パイロットが長時間搭乗したときに生じる疲労をなくすことができる点などである。

図 4 0 に、X-45A を示す。

¹² G とは、航空機の飛行中に機体やパイロットに加わる加速度のことであり、重力加速度を $1G$ という単位に決め、その倍数で表す。

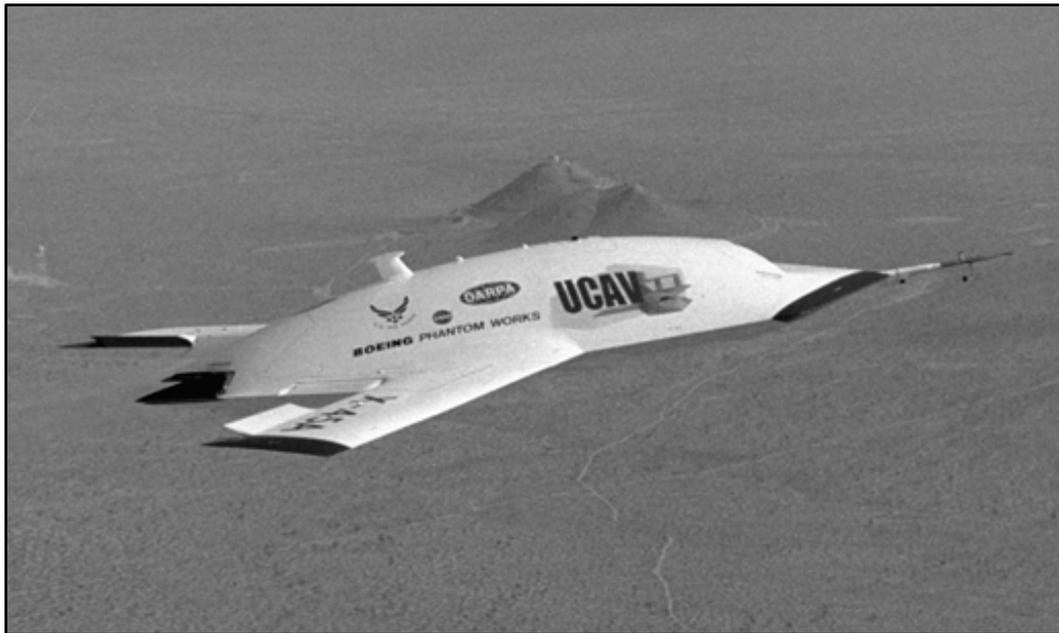


図40 X-45A
(出典：Jenkins 2004, 135)

(14) ファントムレイ

ボーイング社の X-45C 計画は、アメリカ空軍からも海軍からもキャンセルされたが、ボーイング社はその後も X-45C に改良を加える開発を自己資金で続けており、その名称はファントムレイ (Phantom Ray) とされている。ただし、ファントムレイは実証評価機であり、そのまま実用化されるわけではない。

図41に、ファントムレイを示す。



図 4 1 ファントムレイ
(出典：安藤他 2012, 372)

(15) X-47A (X-47B)

ノースロップグラマン (Northrop Grumman) 社の試作した X-47A は、前述の X-45 と UCAV の採用で争ったがそれに敗れ、その後、アメリカ海軍の UCAV-N として採用された。X-47A は、菱形の平面形を持った全翼機であり、2011 年に初飛行した X-47B は、それに矩形の後退翼を追加した形状である。

X-47B は、2013 年、無人航空機として初めて、空母からの離艦、空母への着艦に成功した。図 4 2 に X-47A を、図 4 3 に X-47B を示す。

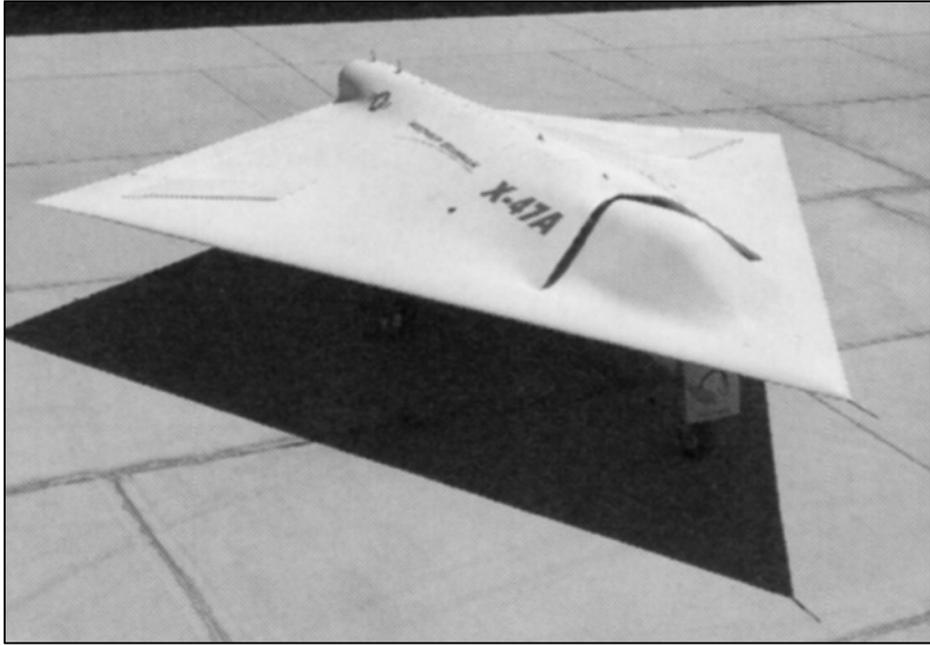


図 4 2 X-47A
(出典：青木 2012, 85)



図 4 3 X-47B
(出典：アメリカ海軍メディア用写真より作成
<http://www.navy.mil/management/photodb/photos/130710-N-TB177-135.jpg>)

(16) X-200 スカイイーグル

X-200 スカイイーグル (Skyeagle) は、インシツ社が開発した小型の無人航空機である。水平尾翼を持たない特殊な構造をしており、偵察に用いられる。

実際、X-200 スカイイーグルは、イラク (Iraq) において、偵察目的で実戦使用されている。X-200 スカイイーグルの発射は、圧縮空気を用いたシステムを用いている。回収時にはスカイフック (Skyhook) という、空中に張ったワイヤーに機体のフックを引っ掛けて回収する方法も行われている。

図44に、X-200 スカイイーグルを示す。



図44 X-200 スカイイーグル

(出典：アメリカ海兵隊メディア用写真より作成
<http://www.3rdmaw.marines.mil/News/NewsArticleDisplay/tabid/8112/Article/89304/scaneagle-keeps-eyes-in-sky-across-afghanistan.aspx>)

(17) ワस्पⅢ

エアロバイロメント (AeroVironment) 社は、偵察と監視を目的とした小型軽量無人航空機ワस्प (Wasp) Ⅲを開発し、アメリカ海兵隊で使用されている。重量は430gと非常に軽量であり、ハンドローンチで飛行させる。電気モーター2個で2枚羽根のプロペラを回し、自動制御で回収する。また、小型リモートコ

ントローラを使い、遠隔操作することも可能である。

図45に、ワズプⅢを示す。



図45 ワズプⅢ
(佐藤 2012, 125)

(18) CL-227 センチネル、CL-327 ガーディアン

カナダのカナデア (Canadair) 社は、RQ-16 タランチュラホークと同じダクテッドファンとヘリコプターの間存在的な存在である CL-227 センチネル (Sentinel) を開発していた。

CL-227 センチネルは、ひょうたん形をしており、中央のくびれた部分に、二重反転ローターを取り付け、上の球体部分にターボシャフトエンジン、下の部分に操作系のシステムを搭載していた。

アメリカ海軍は、この CL-227 センチネルをフリゲート艦に搭載して評価を行ったが、性能不足と操縦性の低さにより、採用されることはなかった(石川 2012b, 210)。その後、カナデア社はボンバルディア (Bombardier) 社に買収された。ボンバルディア社は、1993 年、CL-227 センチネルを改良し、CL-327 ガーディアン (Guardian) を開発したが、これもアメリカ軍に採用されることはなかった。

図46に、CL-327 ガーディアンを示す。



図 4 6 CL-327 ガーディアン
(出典：石川 2012b, 210)

(19) クワッドコプター・シュライク

エアロバイロンメント社が開発し、アメリカ軍に採用されているのが、マルチコプターであるシュライク (Shrike) である。マルチコプターとは、機体に複数個のエンジンを積み、各々に接続されたローターを水平に回転させて、遠隔操縦で飛行する¹³。シュライクの場合、H 字形の四隅にプロペラを取り付けたクワッドコプターである。

RQ-16 タランチュラホークのようなダクテッドファン型の無人航空機は、トルクを打ち消すために二重反転にする必要があり、構造が複雑であるとともに、縦長となってしまい、他者から発見されやすい。それに対し、シュライクのようなマルチコプターは、複数のローターの回転数を制御することによって操縦するため、小型化、軽量化が容易である。

図 4 7 に、クワッドコプターであるシュライクを示す。

¹³ 4つのローターの機体は「クワッドコプター」、6つは「ヘキサコプター」、8つは「オクトコプター」と呼ばれる。



図4 7 クワッドコプター・シュライク
(出典：石川 2012b, 211)

(20) アヴェンジャー

アメリカのジェネラルアトミックス社は、RQ-1 プレディターと同時期に、ステルス性能を備えた無人攻撃機アヴェンジャー (Avenger) を開発していた。アヴェンジャーは 2009 年に初飛行している。

アヴェンジャーは、その形状から、プレディターCとも呼ばれている。RQ-1 プレディターと同じ地上支援設備を使用することが可能である (安藤他 2012, 372)。

図4 8 に、アヴェンジャーを示す。

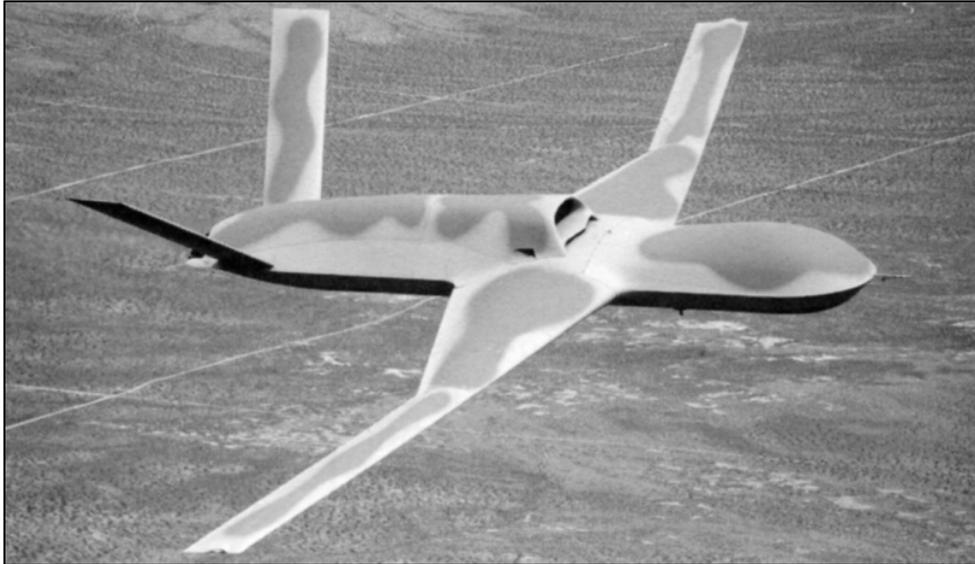


図48 アヴェンジャー
(出典：安藤他 2012, 372)

5. 2 オーストラリア

アメリカ以外の国では、オーストラリアの無人航空機開発が有名である。

オーストラリアにあるシーベル (Schiebel) 社は、カムコプター (Camcopter) S-100 を開発しており、2009年に一般公開を行った。

シーベルは約 200kg と軽量であり、すでに、ドイツ海軍、アラブ首長国連邦陸軍からの発注があった。また、中国も未発表ながら購入し、日本の排他的経済水域において飛行させている写真を防衛省が公開している (石川 2012a, 78-79)。

図49に、シーベル・カムコプターS-100を示す。

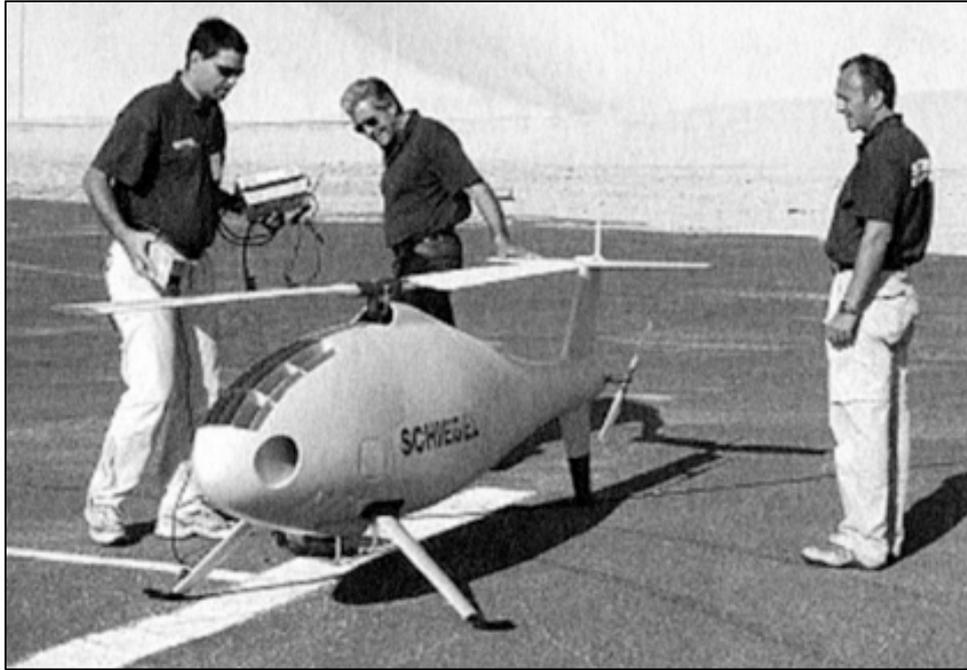


図49 シーベル・カムコプターS-100
(出典：石川 2012a, 79)

5. 3 中国の無人航空機

中国は、複数の無人航空機の開発を行っている国である。

(1) 「利剣」

中国は、「利剣」という無人航空機を開発している。これは、アメリカの RQ-1 グローバルホークに似たグライダーの形状をしており、全幅が 25m と約半分の大きさである。また、巡航速度は 750km、巡航高度は 18000m と、RQ-4 グローバルホークとほぼ同等とされている。2013 年 5 月に、地上滑走試験を行った(河津 2013, 12)。

図50に、「利剣」を示す。



図50 「利剑」
(出典：河津 2013, 12)

(2) 「翔龍」

中国は、2006年に戦略偵察無人航空機である「翔龍」を公開した。その形状は、アメリカのRQ-4 グローバルホークに似てグライダーのようであり、全幅が25mと、約半分の大きさである。また、巡航速度は750km、巡航高度は18000mと、RQ-4 グローバルホークとほぼ同等とされている。

図51に、「翔龍」を示す。



図51 「翔龍」
(出典：田中 2013, 91)

(3) X-200

中国では、二重反転ローターを搭載した無人ヘリコプターX-200を開発しており、2012年のシンガポール航空ショーに模型を出展し、すでに飛行試験中であると言われている。大きさは、シーベル社のS-100とほぼ同じである(石川 2012a, 80)。

図5 2に、X-200を示す。



図5 2 X-200
(出典：石川 2012a, 80)

(4) ASN-15

中国が開発した、ハンドローンチが可能な無人航空機が、ASN-15である。回収をする際には、パラシュートを利用する。

図5 3に、ASN-15を示す。



図 5 3 ASN-15
(出典：石川 2012c, 51)

5. 4 ヨーロッパ

ヨーロッパでは、大手航空・宇宙企業である EDAS (European Aeronautic Defence and Space Company) やイギリスの BAE が、いくつかの無人航空機を開発している。

(1) EADS バラクーダ

EADS バラクーダ (Barracuda) は、中高度をマッハ 0.85 という高亜音速で飛行する無人航空機であり、2006 年に初飛行を行った。

図 5 4 に、EADS バラクーダを示す。



図 5 4 EADS バラクーダ
(出典：安藤他 2012, 371)

(2) EADS タラリオン

EADS タラリオン (Talarion) は、中高度に長時間滞空し、偵察と監視を行うための無人航空機であり、2013年に初飛行し、2016年には配備が行われる予定である (安藤他 2012, 373)。

中高度の偵察・監視を行う市場は、ほぼ RQ-4 が独占しており、EADS は、その市場を狙って開発されている。

図 5 5 に、EADS タラリオンを示す。



図 5 5 EADS タラリオン
(出典：安藤他 2012, 373)

(3) EDAS タノン 300

2012年のユーロサトリという、フランスで開催される国際的展示会に、EDASが出展したのが、タノン (Tanan) 300である。この機種は、シーベル社の S-100に対抗したもので、2016年までには実用化する予定である (石川 2012a, 79)。

図 5 6 に、EDAS タノン 300 を示す。



図 5 6 EDAS タノン 300
(出典：石川 2012a, 79)

(4) BAE システムズ・コラックス

イギリスの BAE システムズは、2006 年にイギリス初の無人ステルス機コラックス (Corax) を公表した。コラックスは、ミッションによって主翼を付け根部分から取り替えることが可能であり、長大な主翼と短い主翼を装着できる。初飛行は 2004 年であり、オーストラリアで飛行試験を約 10 ヶ月行った (安藤他 2012, 371)。

図 5 7 に、BAE システムズ・コラックスを示す。



図 5 7 BAe システムズ・コラックス
(出典：安藤他 2012, 371)

(5) BAe システムズ・マンティス

BAe システムズの開発したマンティス (Mantis) は、2009 年に初飛行した、無人戦闘航空機の概念実証機である。

2 基のターボプロップエンジンを胴体後部に推進式に取り付けており、自立飛行が可能である (安藤他 2012, 372)。

図 5 8 に、BAe システムズ・マンティスを示す。



図 5 8 BAe システムズ・マンティス
(出典：安藤他 2012, 372)

(6) BAE システムズ・タラニス

BAE システムズは、2010 年にタラニス (Taranis) を公表し、2013 年に初飛行に成功した。タラニスは、全翼機であり、ほぼ全自動の自立飛行が可能である。大きな航続力と、衛星回線とのデータリンク可能な大型機である (安藤他 2012, 373)。

図 5 9 に、BAE システムズ・タラニスを示す。

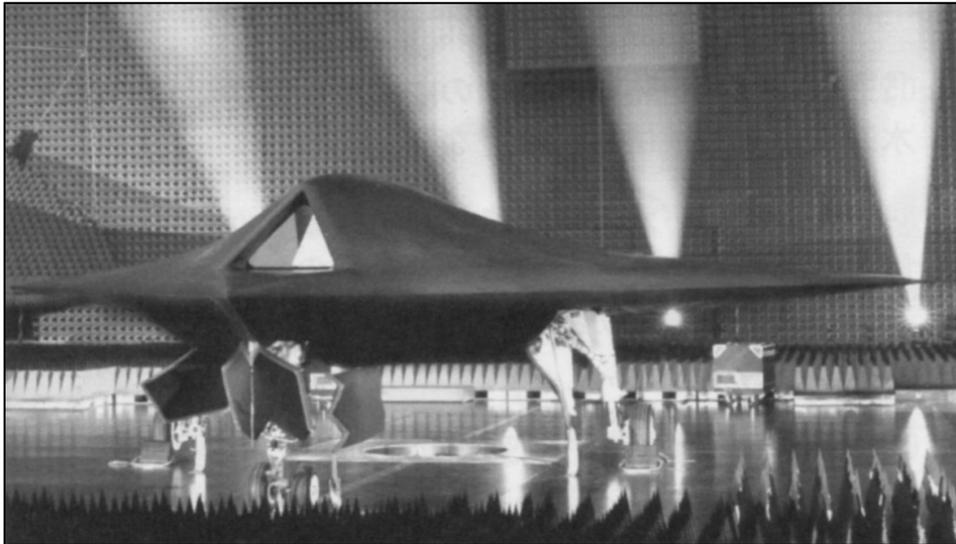


図 5 9 BAE システムズ・タラニス
(出典：安藤他 2012, 373)

(7) ダッソー・ニューロン

フランスのダッソー社を中心に、ヨーロッパの 7 社が開発している無人航空戦闘機が、ニューロン (nEUROn) である。ステルス性を持っており、後退翼の全翼機である (安藤他 2012, 373)。そして、2012 年には初飛行にこぎつけた。

図 6 0 に、ニューロンを示す。

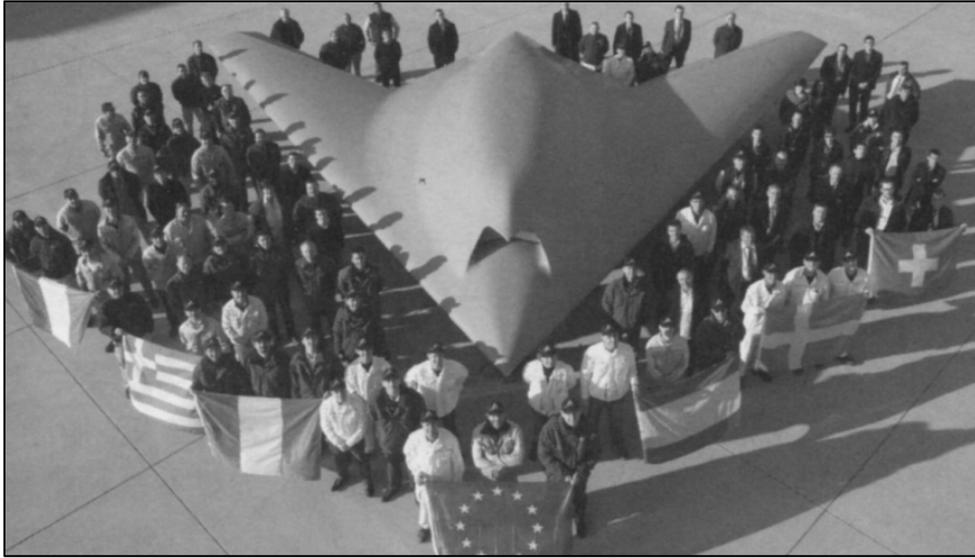


図60 ニューロン
(出典：安藤他 2012, 373)

5. 5 ロシア

ロシアは、冷戦時、非常に高い航空技術を有しており、アメリカに対抗できる数多くの有人航空機を開発し、運用を行ってきた。しかし、冷戦終結後は多額の開発費を賄うことができなくなり、開発が滞るようになった。

そのロシアにおいて、1996年に民間企業となったRAC-Mig（ロシア航空会社ミグ）が2007年にロシア航空宇宙サロンにおいて発表したのが、スカート(Skat)という無人戦闘航空機である。外形はB-2に似ており、全翼機である（安藤他2012, 373）。

図61に、RAC-Mig スカートを示す。



図6 1 RAC-Mig スカート
(出典：安藤他 2012, 373)

5. 6 日本

(1) 防衛省技術研究本部無人機研究システム

日本の防衛省技術研究本部では、無人航空機システムの研究が行われている。この航空機は、RQ-4 グローバルホークと同様、機体の背面上部にエンジンを搭載しており、すでに自立飛行に成功している。

図6 2に、防衛省技術研究本部無人機を示す。



図 6 2 防衛省技術研究本部無人機研究システム
(出典：防衛省技術研究本部メディア用写真
http://www.mod.go.jp/trdi/news/images/UAV_Flying.jpg)

(2) 川崎重工の小型 VTOL-UAV

川崎重工で開発されている、小型 VTOL（垂直離着陸）無人航空機は、円盤の中心に細長いドームを立て、プロペラの下にステーションと操縦翼を置く形状となっている。この形状では、回転トルクをステーションが抑えるため二重反転にする必要がない。そのため、無人航空機の小型化を図ることができる(石川 2012b, 212-213)。

図 6 3 に、川崎重工の小型 VTOL-UAV を示す。



図 6 3 川崎重工の小型 VTOL-UAV
(出典：石川 2012b, 212)

5. 7 その他の無人航空機

現在、様々な種類の無人航空機が開発されている。垂直離着陸と地上走行により負傷者を救助できる機種、オスプレイ (Osprey) のように垂直離着陸ができる上に高速水平飛行ができる機種、鳥の形で羽ばたき飛行を行う機種等である。

(1) エアシップエンデュランス

エアシップテクノロジーグループ (Airship Technology Group) が開発している無人航空機エアシップエンデュランスは、ダクトファンを 3 基搭載し空中へ垂直離着陸できると同時に、リチウム電池で駆動するモーターで地上を走行することもできる。そして、エアシップエンデュランスの V17 型は、前線での負傷者を載せて後方に送るために、エアストレッチャーを装備している。これにより、従来は有人のヘリコプターが行っていた前線負傷者の救出を、エアストレッチャーであれば、無人で負傷者の近くに着陸し、その後は地上走行で負

傷者に近づくことにより実現できる（石川 2012b, 215-216）。

図 6 4 に、エアシップエンデュランスを示す。

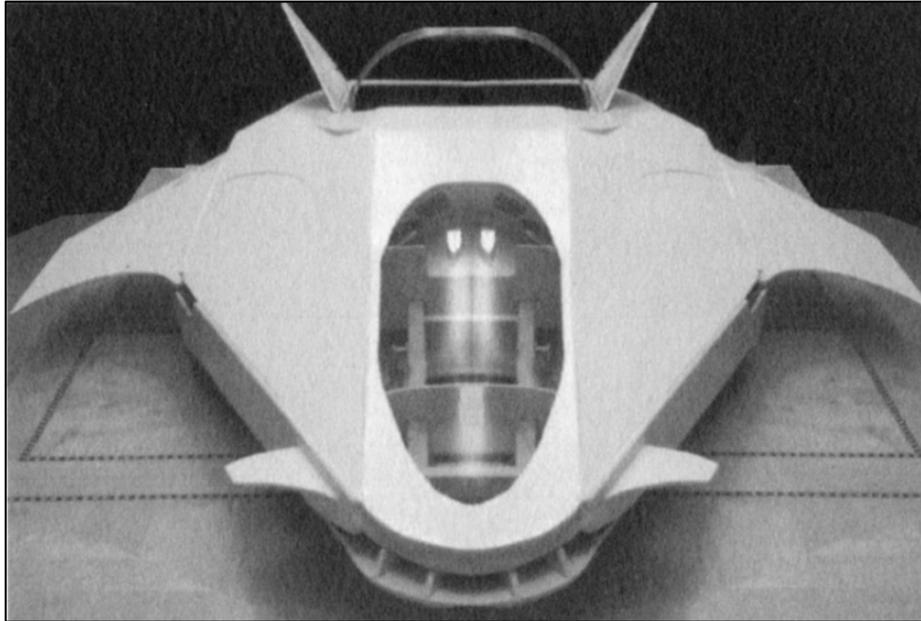


図 6 4 エアシップエンデュランス
（出典：石川 2012b, 215）

（2）イーグルアイ

ベル社が開発した無人航空機イーグルアイ（Eagle Eye）は、ティルトローター（Tiltrotor）式の無人航空機である。ティルトローターとは、翼の先端に取り付けたエンジンの方向を垂直から水平へ変えることにより、ヘリコプターのような垂直離着陸と、固定翼プロペラ機としての高速飛行が可能な航空機のことである。イーグルアイは、ベル社が開発し、沖縄にも配備されたアメリカ軍の V22 オスプレイ（Osprey）の無人航空機版であるといえる（石川 2012b, 213）。

イーグルアイ自体は、最高速度 556km/h を記録し、アメリカ海軍で導入トライアルが行われたが採用されず、沿岸警備隊も導入を断念した。

図 6 5 に、イーグルアイを示す。

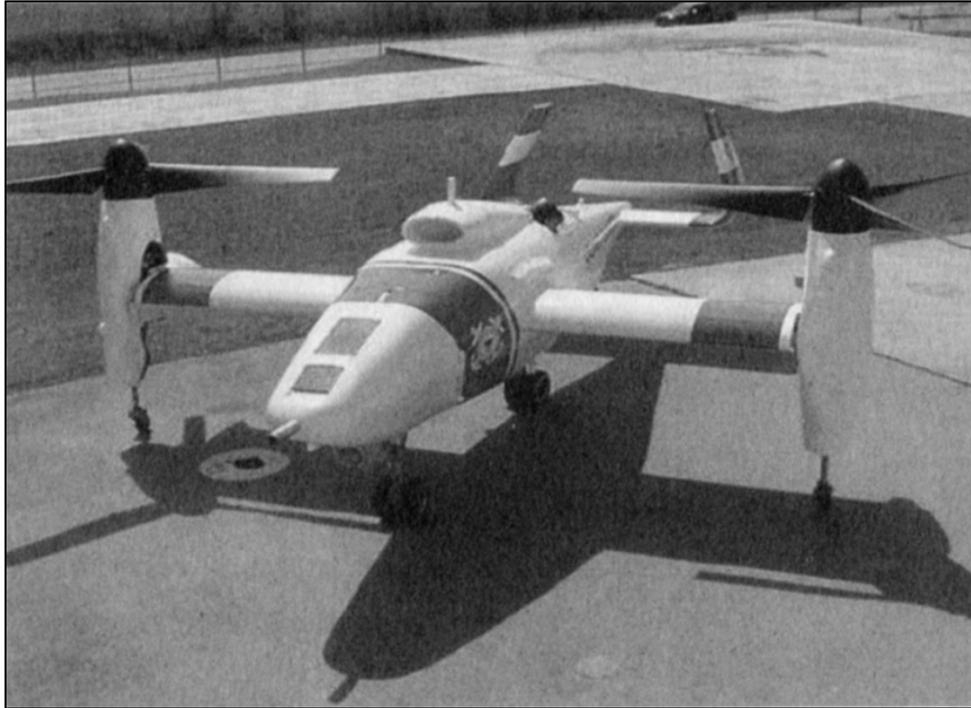


図6 5 イーグルアイ
(出典：石川 2012b, 213-214)

(3) ハミングバード・ナノ

RQ-11 レイブンやRQ-14 ドラゴンアイを開発したエアロバイロメント社は、鳥の形をした超小型の無人航空機ハミングバード・ナノ (Hummingbird Nano) を開発している。

ハミングバードは、はちどりという意味である。ハミングバード・ナノは、従来のプロペラやローターを使用せず、羽ばたきにより飛行する点が最大の特徴である。鳥の形に似せているため、小型カメラを搭載すると、敵に気づかれることなく偵察を行うことができる (石川 2012b, 218)。

図6 6 に、ハミングバード・ナノを示す。

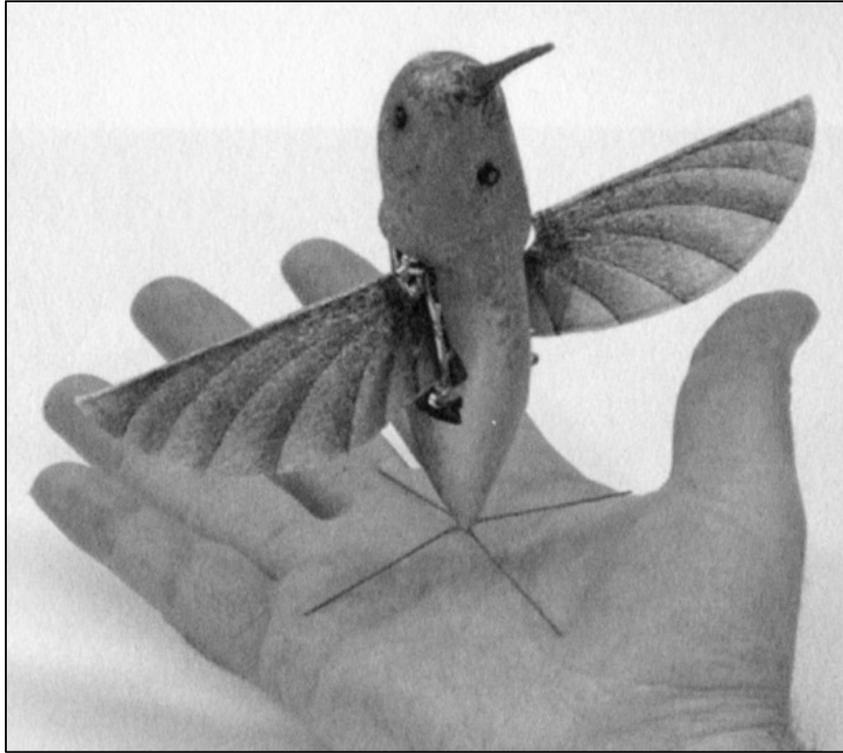


図66 ハミングバード・ナノ
(出典：石川 2012b, 218)

6. 現在の無人航空機の制御と問題点

6. 1 複合化した現在の無人航空機の制御

ケタリング・バグや V1 は、目的地へ爆弾を搭載した航空機を突入させるため、発進地から目的地までの方向と距離をあらかじめ計算し、ジャイロスコープを使って方向を、エンジンの回転数を使って距離を制御する方式であった。この制御方式は、無人航空機が離陸してしまうと、人間が一切関与することができないため、外部の影響を受けやすく、目的地まで到達する可能性が低い。

これに対して、V2 で利用された慣性航法は、複数のジャイロスコープで機体の前後左右の傾きを検知し、加速度計が飛行中も加速度を検知し、機内の計算機が積分して飛行速度を求め、それら傾きや速度の実測値と予測値との差から、複数の舵を制御して、予定の飛行進路を飛行するように制御する方式であった。この V2 の慣性航法は、デジタルコンピュータが存在せず、積分の計算もアナログ積分器で行っていた時代に世界で初めて実用化した技術であり、特筆すべきものである。

その後、デジタルコンピュータが開発され、慣性航法の父と呼ばれるチャールズ・スターク・ドレイパーが完成度を高めた慣性航法 INS、さらに GPS も使用する制御を加えた自立航法が確立した。

この自立航法とは別に、クイーンビー、BQ-7、ファイアビーのように、無線誘導装置と操縦装置を接続し、外部から遠隔操縦する無人航空機の場合、操縦を行うための母機や母艦が必要となる。

これらの手法を複合的に利用しているのが、現在の無人航空機である。例えば、RQ-1 のような、アメリカが運用している無人航空機の場合、自立航法と遠隔操縦を複合的に利用し、アメリカが利用できる基地から世界中どこの目的地へでも無人で飛行させることができるようになった。また、2000 年までは、離陸と上昇の操縦を無線で行うために、操縦ステーションを離陸滑走路の近くに置き、パイロットが操縦する必要があったが、2000 年以降は、パイロットがアメリカ国内にある操縦ステーションに乗り、そこから無人航空機を完全に遠隔

操縦できるようになった。

6. 2 現在の無人航空機制御の問題点

このように、無人航空機を遠隔操縦する技術の向上により、無人航空機の実際の位置と、パイロットの実際の位置は無関係になった。

しかし、現在の無人航空機制御には、大きく3つの問題点が考えられる。

第1の問題は、パイロットが操作してから、実際に操作が有効になるまでに時間の遅延があるという点である。

現在、RQ-1は、Kuバンド¹⁴を利用する静止人工衛星と双方向のデータ通信を行っている。RQ-1からアップリンクされたデータは、人工衛星を介して操縦ステーションにダウンリンクされ、操縦ステーションのパイロットやオペレーターからアップリンクされた操縦コマンドは、人工衛星を介してRQ-1にダウンリンクされる。地上から静止人工衛星までの距離は35786kmあり、データ通信の際の遅延は約0.25秒である。また、視覚による人間の反応速度は約0.2秒であり、RQ-1の最大速度は秒速約60mである。

そのため、RQ-1のテレビカメラから送信されたビデオ映像が衛星を介して操縦ステーションのパイロットのモニタに表示され、パイロットがそれを視認した後反射的に操舵を行い、その操縦コマンドが操縦ステーションから衛星を介してRQ-1に伝わるまでに、最低でも0.7秒を要することになる。この間に、RQ-1は約40m動いてしまうことになる。実際には、テレビカメラの映像を送信するために圧縮する時間、解凍する時間も必要であり、その時間を含めると、パイロットが操作してから、実際に操作が有効になるまでの時間の遅延は1秒を超えるものと考えられる。RQ-1が攻撃を受けた際に回避するといった場合、この遅延は致命傷になる可能性が高い。

第2の問題は、パイロットが無人航空機を遠隔操縦するためのコマンドを送るデータ通信が、途絶したり妨害されたりする可能性があるということである。

¹⁴ 12~18GHzの無線周波数である。静止軌道に打ち上げた衛星との無線通信に使用される周波数であり、高速で多量の通信が可能である。

静止人工衛星とのデータ通信は、Kuバンドで行われる。その周波数の特性上、地表付近の雨によりデータ通信が途絶する可能性がある。また、通信に用いられるデータ自体はデジタルデータで、しかも暗号化されているため、外部からの干渉には強い。しかし、データ通信に使用する周波数を対象とした強力な妨害電波（スポットジャミング）を受けると、データ通信自体不可能になる可能性がある。

このためアメリカ軍は、周波数がKuバンドよりも低く、静止人工衛星を使用せず、地上の通信施設や有人航空機との間でデータ通信を行うC-バンド¹⁵見通し線データリンクも併用している。また、使用する周波数を常に変更し続ける通信法も使用されている。しかし、全ての周波数を対象とした妨害電波（バラージジャミング）を受けると、その場合は、RQ-1を外部から制御する方法が全て失われる。

その場合、RQ-1は自立航法に切り替え、基地への帰投を目指す。そして、操縦ステーションとのデータ通信が回復するのを待つことになる。外部から制御する方法が全て失われても墜落するわけではないが、目的の遂行は困難になる。

第3の問題は、無人航空機の制御を、第三者に奪われる可能性があるという点である。

無人航空機は、操縦ステーションのパイロットからの遠隔操作を、データ通信により受取り、その操作に従って飛行する。もし、第三者が、データ通信に使用する周波数を知っていた場合、第三者が無人航空機に遠隔操作を行うことができる可能性がある。無論、同じ周波数で第三者からの命令を受けても、通信データの packets の中に、操縦ステーションのパイロットからの遠隔操作であることを示すサインがなければ、それを無視する機能は備わっているが、事前にサインを入手すれば、第三者からの信号を正しいものと誤認する可能性がある。これが、無人航空機の制御を、第三者に奪われる状況である。

実際、イランの革命防衛隊（IRGC）は、2011年12月に、イラン領空を侵犯し飛行していた無人航空機RQ-170センチネルを鹵獲し、その解析に成功したこ

¹⁵ 4～8GHzの無線周波数である。静止軌道に打ち上げた衛星との無線通信に使用される周波数であり、高速で多量の通信が可能である。

とを公表した（河津 2012, 177-178）。

このとき、イランは「電子戦部隊によるハッキングで RQ-170 の制御を奪い強制着陸させたため、機体の損傷は最低限である。」というコメントとともに、鹵獲機体をイラン国営テレビで公表している。実際に、イランがハッキングにより制御を奪ったのかどうかは不明であるが、飛行中の RQ-170 に何らかのトラブルが発生し、静止人工衛星とのデータ通信をあきらめ、自立航法に切り替わったときに、イランの制御コマンドを正しいものと誤認した可能性はある。

図 6 7 に、イランに捕獲された RQ-170 センチネルを示す。

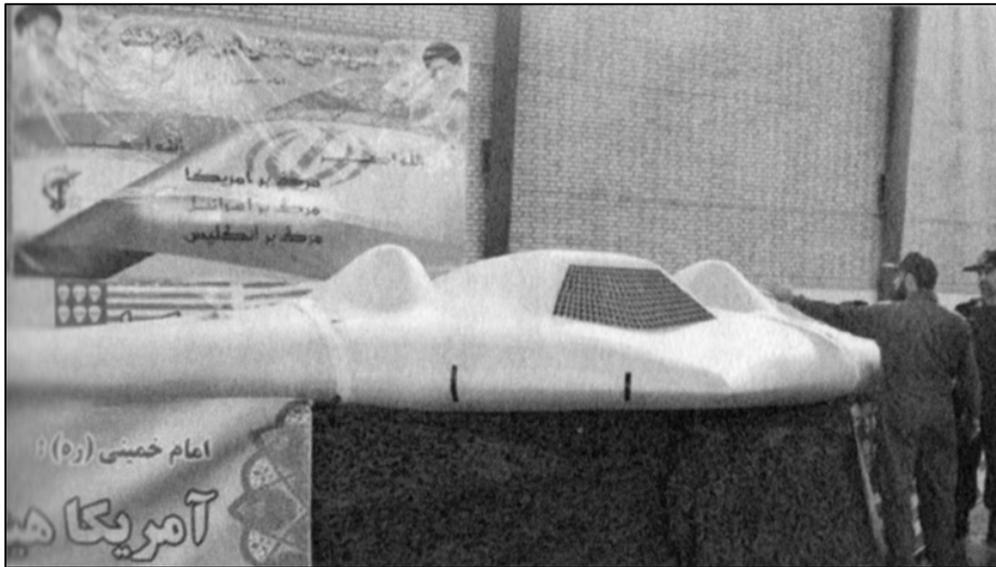


図 6 7 イランに捕獲された RQ-170 センチネル
（出典：河津 2012, 177-178）

6. 3 無人航空機制御の心理的ストレス

現在、無人航空機を制御するパイロットの心理的ストレスが問題になっている¹⁶。有人航空機に搭乗するパイロットは、攻撃目標を選定しミサイルを発射した後は、攻撃目標に起こる結果を確認することなくその場から飛び去ることが、自らの安全性を高めるために必要である。それに対し、無人航空機を制御するパイロットは、人工衛星から送信されるビデオ映像により攻撃目標を選定

¹⁶ AP 通信は、Scott Lindlaw による記事「Remote-control warriors suffer battle stress at a distance」を 2008 年 8 月 8 日に配信し、無人航空機のパイロットの心理的ストレスを指摘した。

しミサイルを発射した後、攻撃目標にミサイルが命中した後の成果まで、映像で確認することが求められる。RQ-1の映像は、地上の人物の性別や、武器の種類なども判別できるほど高解像度であるが故に、パイロットに大きな心理的ストレスとなる。

また、操縦ステーションはアメリカ国内にあり、パイロットは日常生活と目標攻撃を同時に体験する。そのことも、パイロットの心理的ストレスになる。

6. 4 目標誤認による攻撃の可能性

従来から、目標を誤認して攻撃する、いわゆる誤爆は多く発生していた。しかし、国際状況が変化し、味方、中立国の兵士や、敵国の非戦闘員を、誤爆により殺傷することに対し、国際世論の反発が激しくなり、メディアでも大々的に報じられるようになった。

例えば、1991年に湾岸戦争が勃発し、イラクに侵攻したアメリカ軍の地上部隊で、味方の戦車を敵の戦車と誤認し、同士討ちに至るケースが多く、アメリカ軍の戦車の損傷の半数以上が同士討ちによるものと言われたほどであった。原因は、アメリカ軍の使用していた暗視装置が、中東の砂漠の砂塵により正しく動作しなかったためであった。

次に、1999年にNATO軍がコソボ紛争に介入したとき、アメリカ空軍のB-2が、中国大使館を誤爆している。原因は、B-2から発射された精密誘導爆弾JDAMの目標設定に使用された地図が古かったためとアメリカは主張している。

また、2001年に始まったアフガニスタン紛争においては、アメリカ軍とゲリラとの戦闘で、民間施設への誤爆が多発し、メディアで大きく報道されたため、国際世論から非難を浴びることになった。これを逆手に取り、ゲリラ側は「人間の盾」と呼ばれる作戦を使いアメリカ軍に対抗した。人間の盾とは、あえて民間施設や民間人居住区の中からアメリカ軍を攻撃することによって誤爆を誘発し、アメリカに対する国際世論からの非難を強めさせるというものである。

これに対抗するため、アメリカ軍は、ゲリラ側の重要目標を殺傷する作戦においては、誤爆による民間人の被害を容認する方針に転換している。例えば、

重要目標を1人殺害するために、民間人29人までの犠牲が司令官の裁量で許されている。目標、民間人合わせて30人以上が犠牲になる場合には、大統領または国防長官の許可があれば作戦が容認される。

誤爆の原因となるのは、攻撃目標の位置情報が誤っていたり、攻撃目標までの誘導手段に誤りや誤差があったり、人間の盾に代表される敵側の作戦が実施されるためであったり、様々である。現在の技術で、誤爆を無くすることは非常に困難であり、今後も問題であり続けると考えられる。

6. 5 衛星測位システムのデータに頼る脆弱性

現代の無人航空機は、すでに述べたように、複数のGPS人工衛星から発せられる位置データを利用しており、無人で航空機を飛行させるための根本的な生業をGPSのような衛星測位システムに頼っている。しかし、このシステムに頼ることは、無人航空機が脆弱性を有することにもなる。

GPSを開発したのはアメリカ軍であり、当初は軍事目的であったが、その後、民間に開放され、カーナビ、船舶・航空機の航法、測量などで使用できるようになった。最近では、超小型のGPS受信機もあり、登山者が山岳地帯で利用したり、散歩をするときに利用されたりすることもある。

アメリカは、敵国がGPSを利用し、自国の不利になることを防ぐため、1990～2000年の間、測位精度を意図的に落とすSA（Selective Availability：選択利用性）という操作を行っていた。これは、民間用GPS受信機で測位する際の精度を、実際の精度の1/10程度に相当する、約100mに抑えるものであった。このため、2000年までに製造されたカーナビの精度は100m程度であったといわれており、カーナビ上の走行位置と実際の走行位置に、最大100mの誤差が生じていた。

もちろん、SAは民事用のGPS受信機のみで有効であり、アメリカ軍の使用する、軍事用のGPS受信機では、約10m程度の精度が確保されていた。

その後、2000年にはGPSのSAが解除された。これには2つの理由が存在した。

第 1 の理由は、GPS を民間で利用することに対する有用性の認識が強まったことである。カーナビは、特に先進国において普及が進み、有用性が高く評価された。そして、より精度の高い GPS 利用への期待が高まった。

第 2 の理由は、他の衛星測位システムに対し、優位性を確保する必要があったことである。

このような経緯から、アメリカ以外の国も、独自に GPS のような衛星測位システムの構築を行っている。

冷戦時代から、ソ連はグロナス (GLONASS) という衛星測位システムの構築を行っていた。そして、1996 年には、24 基の人工衛星を運用したが、その後経済的な問題からシステムの維持を諦めた。EU (ヨーロッパ共同体) も、ガリレオ (Galileo) という全地球航法衛星システムを開発し、アメリカへの依存を排し、独自性の確保を行おうとしていた。中国も、「北斗」という衛星測位システムを構築しつつある (田中 2013, 91)。

このように、各国は、GPS の民事用信号に対し完全な信頼を置いているわけではない。あくまでも、GPS を運用しているのはアメリカの国防総省であり、軍用信号と民事用信号を発信している。そのため、アメリカがいずれかの国と戦争状態に陥った時に、GPS の SA のように、GPS の民事用信号に対し、誤差のあるデータ、精度の低いデータ、あるいは、正確でないデータを与えることも可能である。

そのような中、日本は、世界中に衛星測位システムを構築することは目指さず、アメリカの GPS を利用する方針を持っている。しかし、GPS だけでは精度が不十分であると考えており、日本国内での衛星測位システムの精度を向上させるために、準天頂衛星を日本上空に打ち上げている。

日本では、カーナビや GPS 機能がついた携帯電話が普及し、生活に欠かせないものとなっている。GPS 衛星からの信号を受けて測位するためには、最低 4 つの衛星が見える必要がある。しかし、山間部や都心部の高層ビル街においては、障害物によりそれが不可能となることがある。

このような、アメリカの GPS 衛星が 4 つ以上見えない場所でも、準天頂衛星のうち 1 機が常に日本の天頂にいることにより、準天頂衛星の信号を加えて正

確な測位を行うことが可能になる。

そのため、日本は、複数の準天頂衛星を打ち上げ、各衛星の軌道面を赤道面から傾けることにより、衛星が常に日本の天頂方向にあるようにすることを計画している。

2010年、JAXA（宇宙航空研究開発機構）は、日本初の準天頂衛星となる「みちびき」を準天頂軌道に乗せることに成功した。「みちびき」からは、GPS補完信号が発せられ、それを使って、GPSによる正確な測位を行う実験が行われている。

準天頂衛星が、日本の天頂付近に常に1機以上見えるようにするためには、最低3機の衛星が必要となる。日本は、2011年に閣議決定された「実用準天頂衛星システム事業の推進の基本的な考え方」において、2010年代後半を目途にまずは4機体制を整備し、将来的には、持続測位が可能となる7機体制を目指すことにしている。

図68に、準天頂衛星「みちびき」を示す。



図 6 8 準天頂衛星「みちびき」

(出典 : JAXA メディア用写真 <http://www.jaxa.jp/projects/sat/qzss/img/photo1.jpg>)

7. 将来の無人航空機の制御と問題点

7. 1 ロボット兵器としての無人航空機

現在の無人航空機は、技術的には自立航法のみで飛行させることが可能であるが、必ず操縦ステーションからパイロットがいつでも遠隔操縦を行うことができる仕組みとなっている。また、攻撃目標に対し、ミサイル発射などの命令を行うのは操縦ステーションにいる人間であり、決して、無人航空機自身が命令を下すのではない。パイロットは、攻撃すべき対象か否かをビデオ映像で見て確認し、ミサイルの発射を決断する。

しかし、将来、無人の戦闘機が開発され、その無人戦闘機が敵の戦闘機と遭遇し、格闘戦になった場合、現在のように、人工衛星経由のデータ通信によりパイロットの操作の遅延が1秒を超えるようでは、容易に撃墜されてしまう。

そこで、無人戦闘機に人工知能を搭載し、データ通信を行わず、無人戦闘機自身が思考して格闘戦を行う、いわゆる自立型ロボット兵器にしたほうが、生存率が高まると考えられ、研究が進められている。

技術的には、他の航空機と遭遇した場合、敵か味方かを識別する敵味方識別装置¹⁷（IFF: Identification Friend or Foe）の反応を信じて、味方とは交戦せず、味方であるという反応を返さない航空機を敵機とみなして攻撃する方法をとれば実現可能である。

また、人間は、耐えられる加速度に制約があり、大きなGがかかると、ブラックアウト¹⁸してしまう。有人の戦闘機であるF-16では、パイロットが耐Gスーツを着用して耐性を高めたり、6G以上の高いGをかけるような飛行操作はできないように飛行プログラムを設計したり、シートのリクライニング角度を30度にしてパイロットにかかるGを分散させたりといった手法により、できるだ

¹⁷ 肉眼で見える距離よりも遠くを飛行する航空機が敵か味方かを判別するために、航空機に向けて味方であるかを質問する暗号コードを電波で発信し、味方であると応答する電波を受信した場合、その航空機が味方であると判定する装置である。また、民間機であることも判定できる。送信には1090MHz、応答には1030MHzの周波数帯を使用する。

¹⁸ 脳へ供給される血液が少なくなり、完全に視野を失ってしまう現象である。

けパイロットがブラックアウトに陥らないようにする工夫がされている。しかし、無人戦闘機の場合、パイロットは搭乗しないので、機体が耐えられる G だけを考えればよく、有人戦闘機に比べ、はるかに高い G を発生させるような高機動飛行が可能となる。

7. 2 自立型ロボット兵器としての無人航空機

ロボット兵器としての無人航空機の利点はすでに述べた。しかし、その危険性も指摘する必要がある。

そもそも、ロボットという概念は、チェコスロバキア人のカレル・チャペック (Karel Čapek) が 1920 年に書いた戯曲「ロボット (R.U.R.)」において初めて登場した。この戯曲では、ロボットが、人間そっくりの外観と人間と異なる組成の肉体を持ち、人間に対して反乱を起こす恐ろしい存在であると描写されており、ロボットといえば反乱という恐怖感を人々に植え付けた。

その後、作家のアイザック・アシモフ (Isaac Asimov) が、ロボットのイメージを大きく変えることになった。彼は、1950 年に発表した SF 小説「われはロボット (I, robot)」の扉に、ロボットの倫理的な規則について言及する「ロボット工学 3 原則 (Isaac Asimov's three laws of robotics)」を書いた。それは、

第一法則：ロボットは人間に危害を加えてはならない。またその危険を看過することによって、人間に危害を及ぼしてはならない。

第二法則：ロボットは人間に与えられた命令に服従しなくてはならない。ただし、与えられた命令が第一法則に反する場合は、この限りではない。

第三法則：ロボットは前掲の第一法則、第二法則に反するおそれのない限り、自己を守らなければならない。

というものであった。

この 3 原則は、人々のロボットに対する恐怖感を和らげるのに大きな役割を果たし、この倫理規則に従って作られたロボットならば、人類のために役立つ素晴らしい存在であるという観念を広く普及させた。

そして、1970 年以降、コンピュータと制御技術の発達により、自動車の組立工場で使われる工業用ロボットが実用化された。これらのロボットは、人間があらかじめ指示した通りにアームが動作し、決まった通り溶接等の作業を行うようにプログラムされている。プログラムのミスにより、近づいた人間を傷つける可能性はあるが、人間に対し反乱を起こすようなことはあり得ない。また、人間が不用意に近づくと自動停止するような機能が組み込まれている工業用ロボットは、ロボット工学 3 原則を守って稼働しているように思われる。

これに対し、自立型ロボット兵器である無人航空機の危険性については、まだまだ注目されることが少ないが、これはよく考えておくべき問題である。

7. 3 パイロットのいない無人戦闘機、無人攻撃機の危険性

ここでは、自立型ロボット兵器である無人航空機として、パイロットのいない無人戦闘機、及び無人攻撃機を想定して話を進める。

無人戦闘機であれ、有人戦闘機であれ、戦闘状態に入るのは、敵に対する攻撃命令が出ており、遭遇した航空機が敵であることを確認した場合のみである。そして、有人戦闘機、あるいは、ビデオ映像をパイロットが確認できる無人戦闘機であれば、視認できる距離より遠い場合、レーダーで発見した航空機を前述の IFF を用いて敵味方を区別するし、視認できる距離にある場合、機体に表示された国籍マークや機体の外形により航空機の国籍をパイロットが推定し、それにより敵味方を区別する。最近では視覚的な迷彩が施された機体が大半であり、目視による航空機の発見は困難になりつつある。

しかし、パイロットのいない無人戦闘機の場合、国籍を推定する行為をコンピュータが行うことになる。コンピュータは、航空機の機体に表示された国籍マークで敵味方を識別するために画像認識処理を行うことになるが、その確実性は人間には及ばない。そのため、味方の航空機、あるいは民間機に攻撃を行う可能性が高い。

有人攻撃機、あるいは、ビデオ映像をパイロットが確認できる無人攻撃機では、パイロットが攻撃対象を目視し、確実に正しいことを確認して攻撃する。

しかし、パイロットのいない無人攻撃機の場合、攻撃対象が正しいかの判断をコンピュータが行うことになる。この場合も、画像認識処理の確実性は人間には及ばない。そのため、攻撃対象を誤ってしまう可能性が高い。

8. 無人航空機の民間利用

前章まで、軍用の無人航空機について論じてきた。軍用の無人航空機に比べ、無人航空機の民間利用は遅れていると言わざるを得ない。しかし、これは、航空機の歴史がまず軍事目的で発展し、その後民間目的に利用されたことと深い関係がある（山下 2012a, 100-101）。

8. 1 農業用無人航空機

農薬散布といった農業用のヘリコプターは、安全性も性能も要求されるため、価格が 1000 万円を超えるものが多い。

ヤマハ発動機が製造している産業用無人ヘリコプター RMAX は、送信機から送られる電波を機体が受信し飛行を行う、遠隔操縦方式を採用している。特に、新しい機種では、送信機の操縦桿を中立位置に戻すと、自動的にホバリング状態となる機能を持っており、容易に操縦できるように工夫されている。

また、民間の周波数帯を使用しているため、他のラジコンと混信し、遠隔操作ができない可能性がある。その場合、GPS を利用してその場所でホバリングし、GPS の電波も受信できない場合は、緊急着陸を行うようプログラムされている。

図 6 9 に、ヤマハ RMAX Type 2 G を示す。



図 6 9 ヤマハ RMAX Type 2 G

(出典：ヤマハ発動機メディア用写真

http://www.yamaha-motor.co.jp/sky/history/rmax-t2g/img/index/img_001.jpg)

8. 2 民間防犯用無人航空機

ドイツのアセンディングテクノロジー (Ascending Technologies) 社は、8 ローターヘリコプター型の無人航空機や 4 ローターヘリコプター型の無人航空機を開発している。そして、2012 年、日本の警備保障会社であるセコム (SECOM) 社は、アセンディングテクノロジーの 4 ローターヘリコプターを基に、民間防犯用の自律型の小型飛行監視ロボットを開発した¹⁹。

この無人航空機は、警備したい敷地内に限定して飛行するようプログラムされており、不審者や不審車を発見した場合、一定の距離を保ち追跡し、ビデオカメラによりその映像を撮影する。それにより、不審者の姿や不審車の車両ナンバーを記録できるため、敷地外に逃走されたとしても、多くの情報を把握することができる。

このような無人航空機を民間で開発したのは世界初であり、無人航空機の新

¹⁹ 2012 年 12 月 26 日セコム社報道資料「世界初、民間防犯用の自律型の小型飛行監視ロボットを開発」による。

たな活用分野として注目される。

なお、何等かの原因により通信途絶が発生した場合、あるいは、無人航空機自体に異常が発生した場合は、速やかに安全な場所に着陸するようプログラムされている。民間利用の場合には、敵に捕捉される危険性は考えなくてもよい
ため、これは妥当な設計方針であると考ええる。

8. 3 映像記録用無人航空機

無人航空機にビデオカメラを載せて、映像を記録するために飛行させることは、民間でも普通に行われるようになった。その主流は、マルチコプターである。すでに軍用機にも採用されているように、機体に複数個のエンジンを積み、各々に接続されたローターを水平に回転させて、遠隔操縦で飛行する。制御技術の向上により、操縦者が操縦桿から手を離すと、自動的に機体がホバリング状態に入る方式が採用できるようになり、未熟な操縦者でも操作ができるようになった。

図70は、筆者が空中から3次元映像を撮影するために2台のハイビジョンカメラを搭載し飛行させたクワッドコプターである。

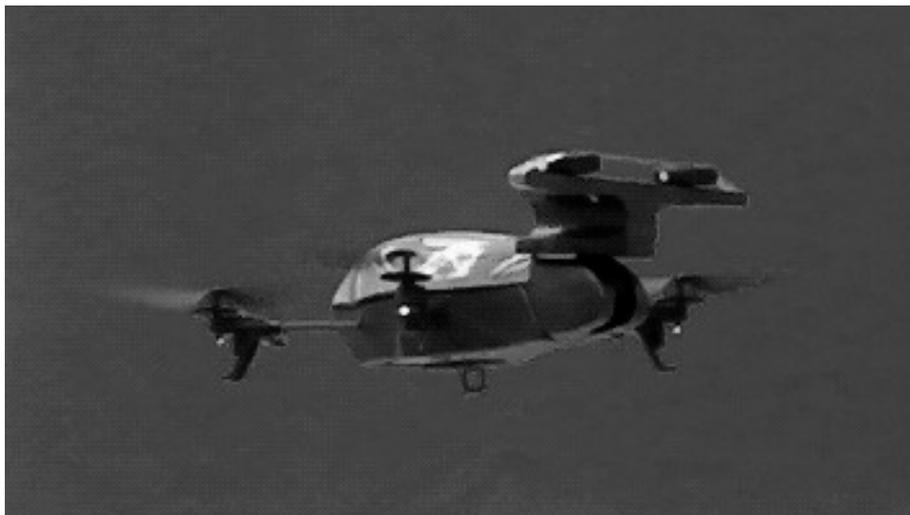


図70 ハイビジョンカメラを搭載したクワッドコプター
(出典：山下 2012b, 464)

8. 4 荷物配達用無人航空機

2013年、アメリカのネット通販大手であるアマゾン・ドットコム (Amazon.com) 社は、小型無人航空機を使って、個人の家庭に荷物を配達するシステムの研究を行っていることを公表した。

図71のように、アマゾン社の無人航空機は、8つのローターを備えるオクトコプターである。



図71 アマゾンのオクトコプター
(出典：ロイター通信 <http://www.reuters.com/article/2013/12/02/us-amazon-drones-idUSBRE9B110T20131202>)

この無人航空機を使用すれば、アマゾン社の物流倉庫から16km以内の距離に顧客の家がある場合、最大2.3kg以下の荷物であれば、注文を受けてから30分以内に顧客の家の庭に届けることが可能であるという。

実際には、アメリカで航空機運用に関する許可を出す権限を持つFAA（アメリカ連邦航空局）は、アマゾン社のような民間企業が、無人航空機による荷物の配達を行う許可を出していない。しかし、将来的に、安全性やプライバシー侵害に関する問題が解決されれば、商用利用に道を開くことは容易に予想される。

9. 結論

航空機の歴史は 110 年、それに対し、軍事目的の無人航空機の歴史は 95 年である。軍事目的の無人航空機は、実に長期間、研究開発が行われ、実用化されてきたことがわかる。そして人類は、全く人間の意志を介在させないロボット兵器としての無人航空機を実用化できる技術水準に達した。

しかし、ロボット兵器に対する人道上の問題に関する議論は不十分なままである。アイザック・アシモフの「ロボット工学 3 原則」で示された、ロボットの倫理的な規則のように、人間に危害を加えない、人間に与えられた命令に服従しなくてはならないという視点は、無人航空機に搭載するコンピュータのソフトウェア開発者には欠けていると言わざるを得ない。

また、国際人道法の中の「ジュネーブ法 (Geneva Law)」においては、戦場において、非戦闘員や、戦闘不能になった戦闘員を殺害することを禁じている。しかし、1991 年の湾岸戦争で、アメリカ軍の暗視装置のセンサーの能力不足により、敵味方を誤認し同士討ちが多発したように、センサーは万能ではなく、まして、戦闘可能な敵の戦闘員であるか否かの確認を、確実に判別することは、現在の技術では不可能である。

このような中、「自律型致死兵器システム (Lethal Autonomous Weapons Systems)」の規制の是非が、2013 年 11 月にスイスのジュネーブで開催される、特定通常兵器使用禁止制限条約 (CCW: Convention on Certain Conventional Weapons) 締約国会議で協議されることになった²⁰。CCW は、非人道的な通常兵器の使用禁止や制限を目標とする条約であり、これまでも、焼夷弾、地雷、失明をもたらすレーザー兵器の使用禁止を実現するなど、核兵器を除く通常兵器の制限に大きな役割を果たしてきた。今回の会議では、自律型致死兵器システムに関し、2014 年 5 月 13 日から 16 日まで、非公式専門家会合を開催し、その結果を 2014 年の締約国会合に報告することが決定されている²¹。

²⁰ 2013 年 11 月 2 日共同通信配信「殺人ロボット規制初協議へ：人道問題懸念の世論受け通常兵器条約会議で」による。

²¹ 2013 年 11 月 25 日外務省「特定通常兵器使用禁止制限条約 (CCW) 2013 年締約国会議 (概要と評価)」による。

ロボット兵器の最大の問題は、人間の意志を全く介在させずに戦闘を行うという点にある。ロボット兵器である無人航空機には、自立型のコンピュータが内蔵され、センサーが対象となる人間を感知した場合、それが非戦闘員や戦闘不能になった戦闘員でなく、戦闘可能な敵の戦闘員であることを確認し、自らの置かれた状況から攻撃可能であると判断すると、対象を殺傷することになる。もし、判断を誤って、無関係の人間を殺傷したからといって、ロボット兵器が責任を負うことができるわけではない。

さらに、コンピュータの乗っ取りや、暴走による誤動作により、戦闘すべきでない対象を攻撃する可能性も存在する。

しかし、これらの責任を、ロボット兵器の開発者が負うはずもなく、それは、人類にとって、決して踏み入れてはならない危険な領域なのである。

このように、多くの人道的問題を抱え、それを解決できていないロボット兵器としての無人航空機の使用制限は必ず行われるべきであり、ロボット無人航空機の研究開発は、民間利用の分野でこそ進められるべきである。

すでに、2次元の移動である自動車の無人操縦は、2020年の実用化を目指し開発中である。同様に、3次元の移動である無人航空機の無人操縦が実用化されれば、個人が小型の無人航空機に乗り込み、無人操縦機能によりパイロットなしで目的地まで移動できるようになる。3次元で移動できる航空機が、2次元でしか移動できない自動車を代替し、人類の主要な移動手段となりうる可能性を秘めている。

人類は、無人航空機の研究開発の努力の大半を、軍事目的に注いできた。今こそ、その研究開発成果を、民間利用の分野に生かすべきであると考えます。

引用文献

- 安藤英彌他 (2012) 「世界の軍用機パーフェクト BOOK」、東京：コスミック出版。
- 青木謙知他 (2012) 「世界のステルス機完全ガイド」、東京：イカロス出版。
- Bowers, Peter M. (1989) "Boeing Aircraft since 1916", Putnam: Naval Inst Pr.
- チャペック・カレル (千野栄一訳) (2003) 「ロボット (R.U.R.)」、東京：岩波書店。
- 藤井弥平 (1995) 「電子航法のはなし：航空と公開を支える情報技術」、交通ブックス 301、東京：成山堂書店。
- 今井今朝春 (2001) 「第二次大戦・世界のジェット機ロケット機」、航空ファンイラストレイテッド No.114、東京：文林堂。
- 石川潤一 (2012a) 「大型・自律化する最新 VTOL 無人機」、『軍事研究』、2012 年 9 月号、東京：ジャパンミリタリーレビュー、pp.70-80。
- 石川潤一 (2012b) 「次世代技術への挑戦！ VTOL 無人機」、『軍事研究』、2012 年 10 月号、東京：ジャパンミリタリーレビュー、pp.208-218。
- 石川潤一 (2012c) 「高い実践能力！マイクロ／ミニチュア無人機」、『軍事研究』、2012 年 11 月号、東京：ジャパンミリタリーレビュー、pp.41-51。
- Jenkins, Dennis R. (2004) "X-Planes Photo Scrapbook", MN: Specialty Pr Pub & Wholesalers.
- 河津幸英 (2012) 「ミリタリーニュース」、『軍事研究』、2012 年 10 月号、東京：ジャパンミリタリーレビュー、pp.174-183。
- 河津幸英 (2013) 「21 世紀のアドヴァンス・ウェポン：無人機の時代」、『軍事研究』、2013 年 9 月号、東京：ジャパンミリタリーレビュー、pp.11-13。
- 野原茂 (2002) 「写真集：アメリカの爆撃機」、東京：光人社。
- 小野熊夫 (1966) 「現代アメリカ軍用機」、航空情報臨時増刊 No.216、東京：酣燈社。
- 佐藤淳 (2012) 「米軍最強最新軍用機：陸軍・海軍・海兵隊編」、東京：コスミック社。
- Simpson, Rod W. (1998) "Airlife's Helicopters and Rotorcraft", UK: Crowood Press.
- 田中三郎 (2013) 「中国の対艦弾道ミサイルとは何か (後編)：戦略偵察兵器開発と宇宙軍事プログラム」、『軍事研究』、2013 年 1 月号、東京：ジャパンミリタリーレビュー、pp.89-97。
- 宇野博 (編) (1970) 「世界の翼別冊 航空 70 年史ー1 ライト兄弟から零戦まで 1900-1940」、東京：朝日新聞社。
- Wagner, William and William P. Sloan(1992) "Fireflies and Other UAVs(Unmanned Aerial Vehicles)", Texas: Aerofax Inc.

山下明博 (2012a) 「オスプレイの安全性に対する懸念」、広島平和科学第 34 号、pp.93-115。

山下明博 (2012b) 「遠隔操縦マルチローターヘリコプターによる 3 次元映像の記録」、安田女子大学紀要第 41 号、pp.455-465。

© 2014 : 広島大学平和科学研究センター
730-0053 広島市中区東千田町1-1-89
TEL : 082-542-6975
FAX : 082-245-0585
E_mail: heiwa@hiroshima-u.ac.jp
URL: <http://home.hiroshima-u.ac.jp/heiwa/>