



# 将来無人装備に関する研究開発ビジョン ～航空無人機を中心に～

平成28年8月31日  
防 衛 省

## 「研究開発ビジョン」とは

戦略的に重要な分野において我が国が技術的優越を確保するため、先進的な研究を中長期的な視点に基づいて体系的に行うための中長期的な研究開発の方向性を定めるものです。研究開発ビジョンは、公表することで防衛産業界等とも共有し、企業等にとっての予見可能性を向上させ、安定的・効率的な設備投資や人員配置を促すことが期待されます。

研究開発ビジョンでは、統合運用を踏まえた将来の戦い方、能力見積り及び戦闘様相の変化等を踏まえ、おおむね15～20年後までに我が国の主要な防衛装備品となり得るもので、技術動向から技術基盤の育成・向上が必要な防衛装備品について、重点的に研究すべき技術を特定し、将来の新たな防衛装備品のコンセプトとそれに向けたロードマップを提示します。

研究の進捗に応じて、研究成果や安全保障環境の変化等に柔軟に対応し、技術シーズと運用ニーズの方向性の一致を図っていくことで、厳しい財政事情の下、中長期的に効果的で効率的な研究開発を実現し、優れた防衛装備品の創製を図っていきます。

本研究開発ビジョンは、当省に設置した「研究開発ビジョン策定部会」において取りまとめました。

### 【研究開発ビジョン策定部会】

部会長： 防衛装備庁防衛技監

部会員： 防衛政策局次長、大臣官房審議官(防衛力整備担当)、統合幕僚監部防衛計画部長、陸上幕僚監部防衛部長、海上幕僚監部防衛部長、航空幕僚監部防衛部長、防衛装備庁プロジェクト管理部長、同庁技術戦略部長

注 研究開発ビジョンは、将来の装備品等に対する技術力の向上のため、先進的な研究を中長期的な視点に基づき体系的に行なうための方向性を示すものであり、装備化を見据えた開発に着手するか否かは、ビジョンに基づき実施される研究の成果や、その時の安全保障環境、諸外国の類似装備品の取得可能性等、防衛力整備の観点から総合的に判断されます。

## 目次

はじめに	1
無人装備の意義	2
将来無人装備に求められる先進技術	3
航空無人機技術の波及効果	4
航空無人機の分類	5
防衛省におけるこれまでの研究成果	6
国内外の技術動向	7
研究開発（航空無人機）の取り組み	8
取り組みの方向	9
取り組むべき主な技術課題（概要）	10
技術獲得の流れ	11
技術実証コンセプト	12
研究開発ロードマップ	13
研究開発成果の活用	14
おわりに	17
(参考) 取り組むべき主な技術課題（詳細）	18

# 1 はじめに

## 我が国周辺の安全保障環境

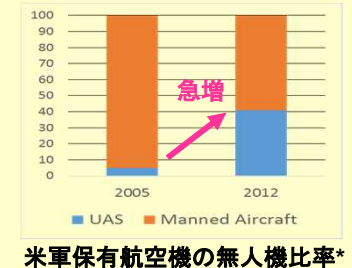
我が国周辺では、領土や主権、経済権益をめぐる、純然たる平時でも有事でもない、いわゆるグレーゾーンの事態が増加する傾向にある。さらに、周辺国による軍事力の近代化・強化や軍事活動などの活発化の傾向がより顕著に観られるなど、安全保障上の課題や不安定要因は、より深刻化。

また、技術革新の急速な進展に伴い、装備品に関する技術の進歩や拡散が進んでおり、今後の軍事戦略や戦力バランスに影響を与えるものとなっている。

## 諸外国における無人機活用の拡大

近年のIT、ロボット関連技術等の進展は高性能な無人システムの開発を加速させ、米国、中国、イスラエルを始めとする諸外国において、安全保障分野での無人システムの活用が拡大

一例として、米軍の保有する航空機について、2005年では全航空機に無人機が占める割合は約5%であったのに対して、7年後の2012年には、約40%まで急増



\* 出典: Congressional Research Service, U.S. Unmanned Aerial Systems, 2012

## 防衛生産・技術基盤戦略（平成26年6月防衛省）における現状及び今後の方向性

無人装備について、現時点においては、自衛隊の現有装備品は少ないが、世界的に開発が進んでいる分野であり、我が国においても積極的に技術基盤の向上に努めていく必要がある。しかし、他の分野の装備品に比べ、要求される機能・性能やその運用方法について未確定なことも多く、将来戦闘様相及びスマート化やネットワーク化のような防衛技術の動向を踏まえ、統合運用の観点に留意しつつ、自律型等の将来の無人航空機などの無人装備の方向性を示すために、研究開発ビジョンを策定するとともに、積極的な研究を行い、技術基盤の向上を図る。

### これらを踏まえた取り組み

①諸外国において研究開発及び装備化が積極的に進められており、我が国は実証レベルで差をつけられている、②民生分野においても自動車の自動走行など自律化技術の進展が著しい、③警戒監視や偵察をはじめとした様々な運用場面で無人装備の活用の場が拡大する、といった理由から防衛省・自衛隊での運用に合致した各種無人装備について、海外や民生分野から導入可能な技術も考慮の上、防衛省として解決に取り組むべき技術的課題を整理し、我が国が技術的優越を着実に確保するための実行可能なロードマップを導出

## 2 無人装備の意義

### 防衛分野における無人システム活用の拡大

- 無人システムは、人間の生理的限界に依存しない機能持続性、運用者の低リスク性、ダウンサイジングの容易さ、相対的に低い開発・運用コストといった特性を活かし、防衛・民生の分野を問わず活用範囲は拡大する傾向
- 防衛分野においては、無人装備の導入効果が期待される、長期間継続的に繰り返す領域監視、化学剤・生物剤・放射能といった汚染地域での活動、地雷・機雷等の搜索・除去等において、一部で無人システムの適用が開始
- 人工知能に代表される自律制御技術、小型大容量の電池技術、高精度なセンシング技術等、関連技術の進展に伴い、将来に向け無人システムの活用の場は益々増加する見込み

### 我が国における無人装備の研究開発の意義

#### 陸上無人機

- 原発災害等での環境計測や簡易な作業、建物内の偵察など、隊員の安全性の向上と部隊の能力向上が図られる。
- 人間が行う作業と同等の作業を実施できる人型ロボット（二足歩行ロボット）の研究が米国を中心とした諸外国で積極的に進められている現状において、我が国の優れたロボット技術を防衛分野に適用することで、技術的優越を有する我が国独自の装備品の創製が期待される。

#### 水上・水中無人機

- 我が国の広大な海域を監視するセンサ類のプラットフォームとして、水上・水中無人機は比較的低コストで常続稼働、長時間追跡を可能とする効果的な監視システムの構築に資する。
- 水上・水中無人システムの研究開発で培った音響探知技術、燃料電池のような動力源技術、音響通信技術などにより、魚雷や機雷といった既存装備品の機能・性能向上に寄与する。また、低周波の音響探知技術など国内の強みのある技術基盤のさらなる強化が期待される。

#### 航空無人機

- 諸外国の研究開発動向から、将来、航空機同士の戦闘において、作戦行動を支援する、あるいは直接戦闘行為を行う無人機の出現が予測されるが、そういった将来の質的環境変化に対応するためにも、技術的優越を確保していく必要がある。
- 欧州の戦闘用無人機（UCAV）実証機の例に見られるように、航空機の技術実証を有人機よりも安価に行う効果が期待できる。また、有人機の開発が行われていない期間に技術基盤を維持する効果も期待される。

注 航空無人機とは航空法における航空機(無人機)及び無人航空機をいう。



### 3 将来無人装備に求められる先進技術

#### 無人装備の技術的進展

- 古くは、航空無人機分野において標的や偵察用途として出現。今日、GPSや通信衛星を使用した“危険”または“単調”な任務（攻撃や長期間監視等）を行う航空無人機が多数実用化
- 民間においては、商用利用も視野に入れてドローン等の航空無人機の研究開発が急速に進展中
- 陸上無人機分野では、土木器材のほか、CBRNといった“汚染”環境における遠隔操縦の作業器材として研究開発が進展。近年、ロボットや車両の自動運転の研究開発が盛ん
- 水中無人機分野においては、我が国は世界有数の深海探査機技術を保有



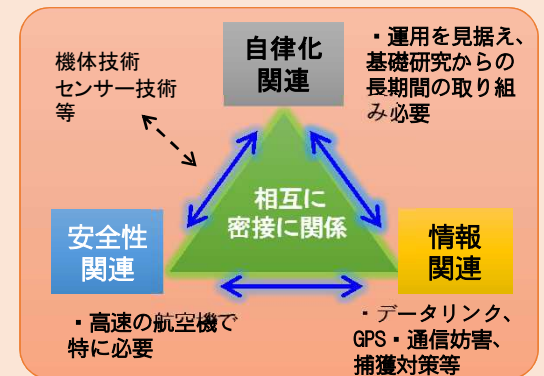
⇒ プラットフォーム技術、遠隔操縦技術、プリプログラム技術等を中心に進展

#### 今後の進展の方向性

- 防衛分野において、操縦者の生命リスクがない無人装備は、ネットワーク化により将来的にも役割を拡大
- 将来の戦闘、広大な海域や島しょ部等の常時警戒監視といった各種任務を考えると、人的資源の面で制限がある**有人装備を数的に補完**しえる、**操縦者への依存度の低減**が求められる
- ただし、我が国においての将来無人装備の役割拡大には、特に航空機等において、**高度の安全性**の具備が必須
- 小型無人機は、民間において日進月歩で進展と予測。他方、中大型無人機には積極的な取組が必要

#### 将来無人装備の実現で鍵となる先進技術

- 各種無人装備が将来の有人任務を支援するため、無人装備の**自律化**、**安全性確保**、**情報化**のための各種技術が特に重要となると予測
- 我が国における自律化関連技術の防衛応用は初歩的段階
- 特に、**高速度**の無人装備実現には、**自律化と安全性を両立**させる高度な独自技術が必要



安全性等の面で最も高度で長期の技術開発を必要とする**将来無人装備(航空無人機)**の研究開発をまず体系的に推進することで我が国が技術的優越を確保するための**先進技術を戦略的に獲得**する

## 4 航空無人機技術の波及効果

### 航空無人機技術

無人機システム・制御技術  
の一部(高アジリティ飛行技術等)  
エンジン技術(ラムジェット複合サイクル技術等)

※ 主要な構成技術として  
考えられるものを例示

小型車体技術

CBRN対応技術

二足歩行技術

搭載器材モジュール化技術

ロボットアーム技術

自己制御技術

群制御技術

群協調技術

知能化任務支援技術

非GPS航法技術

ヘルモニタリング技術

情報通信技術

電動推進システム技術

指揮統制技術

機体構造技術

情報保護技術

ステルス技術

情報融合技術

ペイロード技術

電波・光波センサ技術

電子戦関連技術

音響センサ技術

音響信号処理技術

水中通信技術

燃料供給技術

発電システム技術

陸上無人機技術

水上・水中無人機技術

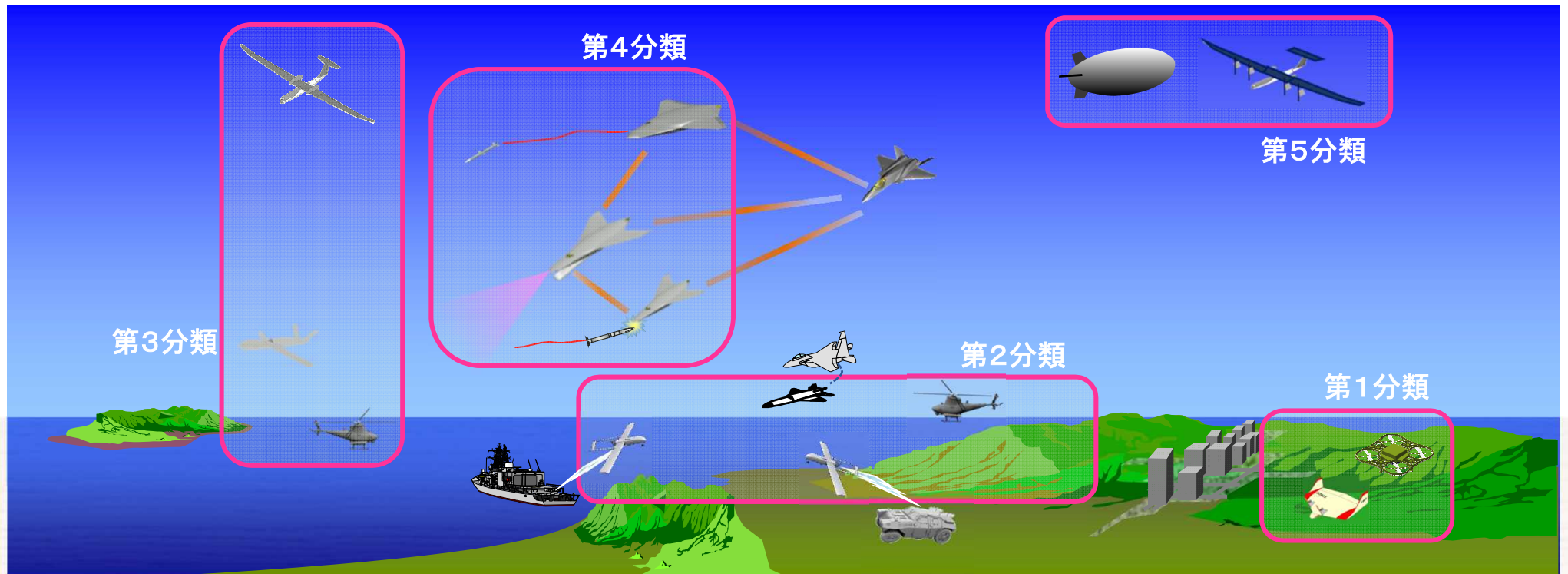
防衛・航空・機械・電気電子・情報通信産業等の技術基盤の育成

我が国の研究機関等における科学技術レベルの向上への貢献

航空機技術は技術の集合体であるとともに、最も安全性が求められるなど高度な技術基盤の育成・向上が必要

航空無人機技術は、陸上無人機技術、水上・水中無人機技術と基盤を共通とするものが多く、他の無人装備への技術スピノフや産業波及効果を考慮すると、航空無人機技術を戦略的に推進することは効率的かつ効果的

## 5 航空無人機の種類



分類	内容
第1分類 (携帯型・ドローン)	携帯可能な機体規模の航空無人機であり、多くの場合目視可能な近距離の範囲で運用され、昨今一般的にドローンと称されているもの
第2分類 (近距離見通し内運用型)	中継を設けず遠隔制御拠点との通信が可能な見通し内で運用されるもの。発進もしくは回収するために機材を用いることが多い。スキャンイーグル(米)、無人機研究システム、FFOS等が該当
第3分類 (遠距離見通し外運用型)	遠隔制御拠点との通信に衛星通信などを利用し、比較的行動範囲の広い見通し外で運用されるもの。滑走路等から離着陸し、主として長時間滞空し、情報収集、警戒監視、偵察任務を行う。グローバルホーク(米)、プレデター(RQ-1)(米)、ファイアスカウト(米)、ヘロン(以)等が該当
第4分類 (戦闘型)	ウェポンやセンサを搭載し、戦闘機等の有人機と連携するものを含め戦闘行動やその支援を担う戦闘型のもの。機体は第2分類もしくは第3分類で開発されたものの流用が見られる。リーパー(MQ-9)(米)、X-47B(米)等が該当
第5分類 (特殊飛行方式)	航空機の一般的な推進・浮揚方式とは異なる飛行方式を採用し、週から月単位の長期滞空を目指しているもの。大型飛行船、ソーラープレーン等が該当



## 6 防衛省におけるこれまでの研究成果（航空無人機）

### 第1分類（携帯型・ドローン）

- **携帯型飛行体技術**の研究を平成18年度まで実施。当該研究の成果を反映したUAV（近距離用）は陸上自衛隊で運用中

携帯型飛行体の研究



### 第2分類（近距離見通し内運用型）

- ヘリコプタ特有の自動飛行技術を適用した**ヘリコプタ型の遠隔操縦観測システム**を平成8年度に開発完了。当該機は陸上自衛隊で運用されると共に、新無人偵察機システムに発展
- 空中発進型の**偵察用無人機を想定した無人機研究システム**を平成23年度に開発完了。本開発では空中発進や滑走路への着陸を含む一連の飛行の自動化、可視光・赤外線センサの遠隔操作及び見通し線内データリンクによるデータ伝送を含むシステムインテグレーションを実施。現在航空自衛隊で研究用途として運用中

遠隔操縦観測システム



無人機研究システム



### 第3分類（遠距離見通し外運用型）

- **高高度滞空型無人機特有の機体要素技術**についてこれまでに研究を実施
- 現在、弾道ミサイル警戒監視用等の無人機を想定した**航空機搭載型小型赤外線センサシステムインテグレーション**の研究を実施中



航空機搭載型  
小型赤外線センサ

### 第4分類（戦闘型）

- 将来、戦闘支援無人機の自律制御（知能化）技術へ活用可能な要素技術（有人機によるクラウドシューティング等）に取り組んでいる段階

### 第5分類（特殊飛行方式）

- 民生分野において、高高度滞空型飛行船、電動／ハイブリッド推進技術等、要素技術の研究が行われている

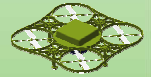
- ✓ 第1、2分類については、開発あるいは一部装備化の実績有り
- ✓ 第3分類については、要素技術の研究実績有り、システムインテグレーション技術の研究を実施中
- ✓ 第4、5分類については、一部の要素技術に関する基礎的な調査研究を実施中



## 7 国内外の技術動向（航空無人機）

### 第1分類（携帯型・ドローン）

- 国内外を問わず民生分野の発展が著しく、撮影、物流、警備等さまざまな目的で実用化に向けた取り組みが活発。軍用においても大量に普及
- 米国国防高等研究計画局（DARPA）を中心に生物模倣型のマイクロUAVの開発が進捗しており、15～20年後には、小型化技術の進展により、自律行動を行う超小型タイプが幅広く活用されていると推測



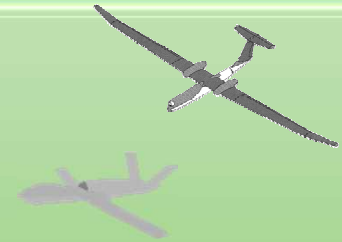
### 第2分類（近距離見通し内運用型）

- 技術的に概ね成熟した分類。各国で機体開発が続けられており、民生分野での活用も進展
- 軍用ではデータリンクの相互運用性の拡大等が課題だが、15～20年後には解決され、また、空域ルールも確立して普遍的な装備となっていると推測



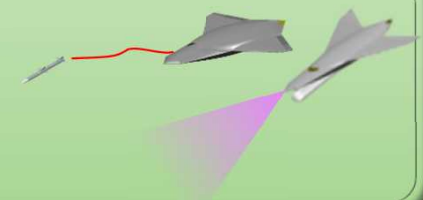
### 第3分類（遠距離見通し外運用型）

- 米国、イスラエルを中心に偵察・監視任務の滞空型無人機が各国で運用されており、中国も国産機で追従。米国においては、高脅威度環境への対応のためステルス機を開発
- 民間機との空域統合に向け、技術、運用両面での実証的研究が進展しており、15～20年後には、一般航空路及び飛行場での使用が進み、自律運用による監視任務等への適用が進むとともに、エンジン技術の進展に伴って超音速運用といった用途に拡大していると推測



### 第4分類（戦闘型）

- 米国が武装無人機を運用中であり、欧州や中国も追従の動きを見せているが、現状これらの機体では兵器使用に人間が介在し、用途も限定的
- 戦闘支援無人機の実現に必要な自律制御技術の研究・実証のため、各国が実証機を製造。15～20年後には、高脅威度環境への適応が進行するとともに、一部自律化による有人装備との連携運用が実用化し始めると推測



### 第5分類（特殊飛行方式）

- 電動推進やハイブリッド推進、ソーラープレーン等、有人機と共通かつデュアルユースの技術が中核
- 英国のソーラープレーンが飛行実証段階にあるが、実用機は出現していない。電源技術の進展を注視する必要があるものの、供給電力や耐候性等の制約により適用は限定的となるものと推測



## 8 研究開発（航空無人機）の取り組み 基本的な考え方

### 研究開発の基本的な考え方

#### ◆ 安全性の確保：

過密な人口や航空交通路を有し、国民一般に高い安全性意識が存在する我が国において将来無人機の実現に向けた研究開発に取り組むにあたり、特に高い安全性が確保されたシステムを構築するための技術の獲得に努める必要がある。

また、試験研究においても、新規の技術実証を有人機を用いた検証から始めるなど、安全性を優先して着実に実施する。

#### ◆ 効率的な研究開発：

個々の研究開発事業の計画に当たっては、我が国の技術レベル、海外や民生分野から導入可能な要素技術を考慮のうえ、防衛省として取り組むべき技術課題を整理し、我が国の技術的強みをいかしたオールジャパンでの効率的かつ実行可能な取り組みを導出していくこととする。

無人機技術は、様々な技術分野から構成される応用的・総合的な技術分野であり、効果的な技術取得を行うための研究体制・手法のあり方について適宜検討を行っていく。

#### ◆ 継続的な技術向上：

自律化技術や戦術を支援する知能化技術、先進的なセンサ技術やデータリンク技術等、進展が速くリスクの高い技術分野で、我が国が保有すべき技術分野については、継続的な技術向上に取り組むとともに、最新成果の反映に努めることとする。

他方、技術基盤の強化を図るため、安全保障技術研究推進制度を活用した萌芽的な技術の発掘・育成に並行して努めるなど、中長期における我が国の総合的な科学技術レベルの向上に継続的に取り組む。

## 9 研究開発（航空無人機）の取り組み 取り組みの方向

### 運用環境構築の観点

- 今後、ICAOにおける国際的に計器飛行方式で運航する無人機に係る国際基準の整備を受け、国内制度が整備される見込みであるが、有人機との空域の統合を実現するには、航空管制の在り方を含む多面的な検討が必要であり、単独飛行における安全性の確保のみならず、有人機を含む複数機との相対的な行動を制御する必要があり、**段階的にリスクの高い課題を解決するため、関係機関と協力して、実証的な取り組みを継続する必要**がある。
- 実証の方法は、まず単独機を対象とした見通し外における安全な運用を可能とする技術及び運用要領等の確立、次に有人機を含む複数機を対象とした技術及び運用要領等の確立といった段階的な進め方が考えられる。実証に用いるプラットフォームは見通し外で運用されるものが基本となる。

### 効率的な技術確立の観点

- 第1分類: 民生分野の成果を適宜導入することが、経済性の面から効率的
- 第2分類: 群での協調運用を含む高度な自律化を除きリスクの高い技術課題は少なく、ニーズに応じて比較的短期間で開発可能
- 第3分類: 国外では実運用されている無人機が数多く存在するが、**我が国では無人実証機を試作した経験がなく、第4分類航空無人機を実現するにあたって必須基盤**となる分類
- 第4分類: **欧米や中国では無人実証機を飛行させており、国内では智能化に関する要素研究のみを行っている状況**
- 第5分類: 国内外とも、現在のところは技術実証にとどまり実運用に供されている機体は出現しておらず、実用化にはさらなる技術革新が必要。要素技術の多くはデュアルユース技術であり、研究機関等との協力により効率的に推進できると考えられる。

### これらを踏まえた取り組み

**第3分類、第4分類に属する航空無人機**の研究開発にリソースを重点的に充てることが適当  
取得した技術は適宜他の無人機へ反映・活用

# 10 取り組むべき主な技術課題（航空無人機）

将来の航空無人機の実現に必要な取り組むべき技術課題について、個々の技術の特性や技術成熟度に応じ、我が国の技術的強みを生かした効率的な研究開発を行っていく。

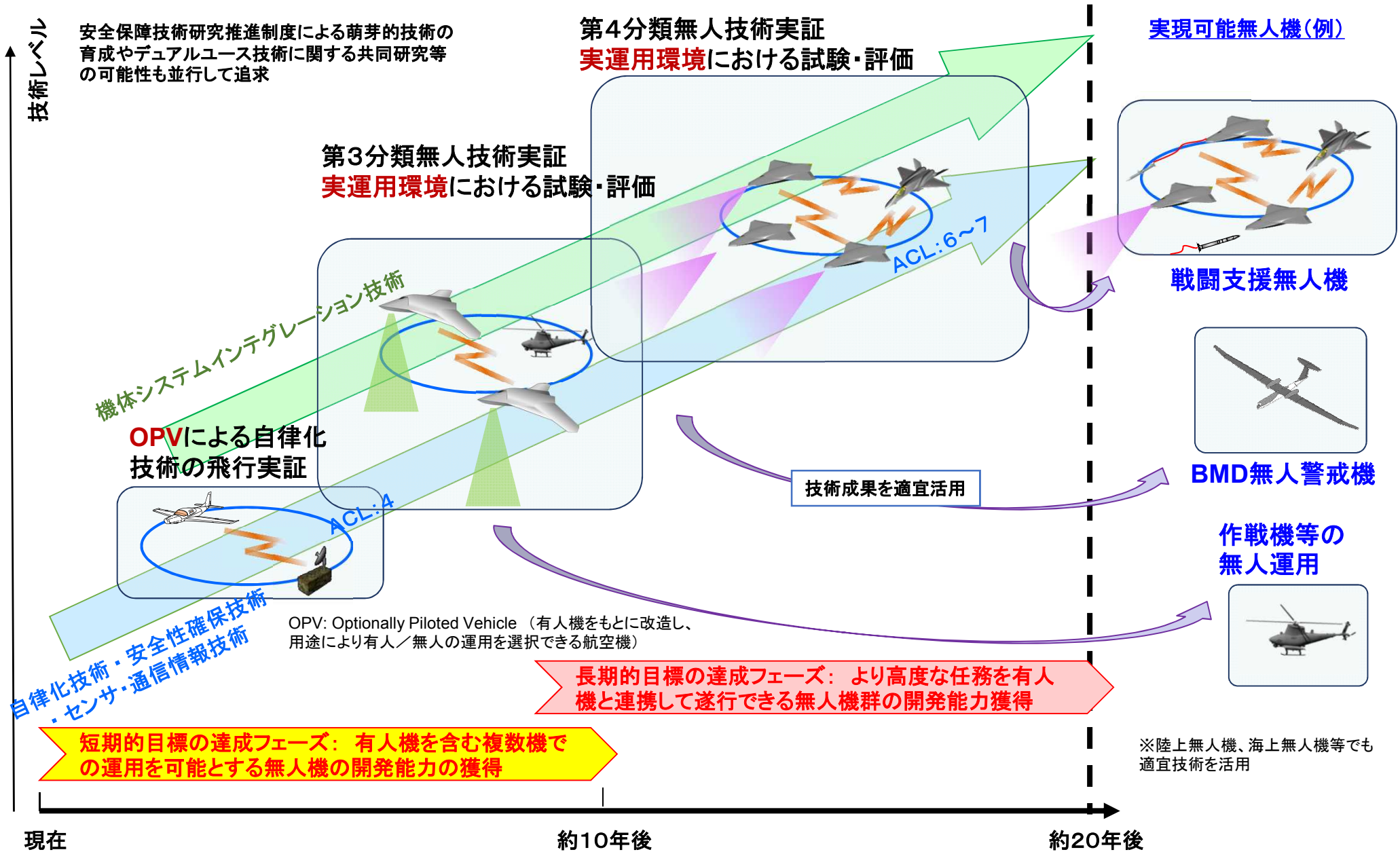
赤: 防衛省が研究開発する必要のある技術  
 青: 他の装備品の成果を活用できる可能性のある技術  
 緑: 民生分野または共同研究の成果を活用できる可能性のある技術

※ 武器技術を除く主要なもの(詳細は巻末に添付)

項目	主要構成技術	技術適用の効果	技術獲得の難しさ	
機体技術	無人機システム・制御技術	高アジリティ飛行技術	無人機特有の高い敏捷性実現、残存性を向上	
		ヘルモニタリング技術	機体(複合材)の異常・損傷等を自ら検知	
		非GPS航法技術	GPS使用不可の状況下においても任務を継続	
	ステルス技術	メタマテリアル技術	電波反射特性の最適化により被探知性向上	研究実績はなく難易度高
機体構造技術	モーフィング構造技術	飛行条件に応じた機体形状の最適化により飛行効率を改善し、滞空時間を向上	実用的な技術の確立に一定の期間を要する 他の装備品にも共通する技術ではあるが、基盤的な段階	
動力・推進技術	エンジン技術	ラムジェット複合サイクル技術	極超音速の実現による無人機の用途の拡大	要素研究の段階であり、実現まで長期間を要する
	電動推進技術	軽量・高効率電源技術(再生型燃料電池等)	全電氣化された無人機の滞空時間を大幅に向上	研究の端緒についた段階で実現には長期間を要する
自律化・知能化技術	自己制御技術	飛行経路の自動再生成等	故障等に対応し飛行経路等を自ら修正	実用的なエンジンの開発に長期間を要する 実用的なシステムの開発に長期間を要するが、民生分野の研究成果を適用できる可能性
	群制御技術	フォーメーション・衝突回避、空中給油等	複数機が互いを認知し行動を相互調整	
	群協調、知能化任務支援技術	クラウドシューティング等	相対する敵機を認知し、協調行動・任務割り当て等	
指揮統制・情報通信技術	情報通信技術	統合データリンク技術	妨害に強く従来よりも広帯域なデータリンク	有人機等を対象に研究中の技術を流用可能だが、小型・軽量化等の課題がある 基盤となる技術は民生分野とも共通するが、装備品特有の目標設定必要 実用的な技術の確立に一定の期間を要する。装備品特有の目標設定必要
		サイバー攻撃対処技術	通信乗っ取り等への対処	
	指揮統制技術	ミッションプランニング支援技術	適時に無人機群への指示することでオペレータの負担を低減	
センサ技術	電波センサ	バイスタティックレーダ	自らは電波を送信せずに他の無人機等からの電波を空中受信	民生分野の研究成果を適用できる可能性
	光波センサ	赤外線高解像化技術	より遠方での地形の確認や目標情報を取得	他の装備品にも共通する技術
	情報融合	複合センサ技術	情報融合・データ抽出による目標探知・状況認識性能等の向上	実現には長期間を要する
電子戦技術	電子戦関連	電子防護技術(EP) 対HPM防護	高出力マイクロ波兵器に対する防護能力向上	研究中の有人機用技術を流用できる可能性
ペイロード技術	情報保護	解析・改ざん防止技術	ろ獲等の際の内部情報漏洩・改ざん防止	他の装備品にも共通する技術
	ペイロード	多用途モジュール化技術	プラットフォームの共通化、ミッションの多様化	規格化に一定の期間を要する



# 1 1 研究開発（航空無人機）の取り組み 技術獲得の流れ

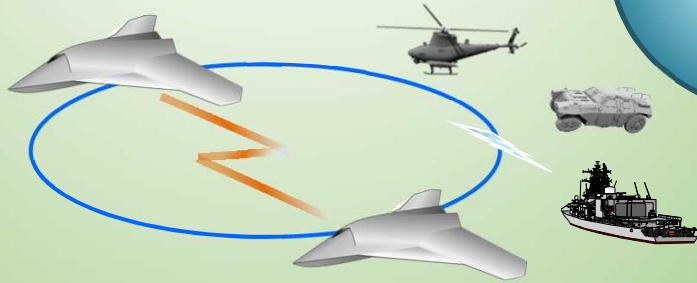


ACL (Autonomous Control Level) : 米軍で作成された自律能力の指標で遠隔操縦(レベル0)から人間と置き換え可能なレベル(レベル10)まで区分

# 1 2 研究開発（航空無人機）の取り組み 技術実証コンセプト

新たな運用  
を考慮した  
技術実証  
を実施

## 第3分類無人技術実証



### 自律・協調化による隙のない警戒監視

- ◆ 広大な海域等で自律・協調行動を行い、隙なく陸海空の幅広い監視情報を収集、事態に即応

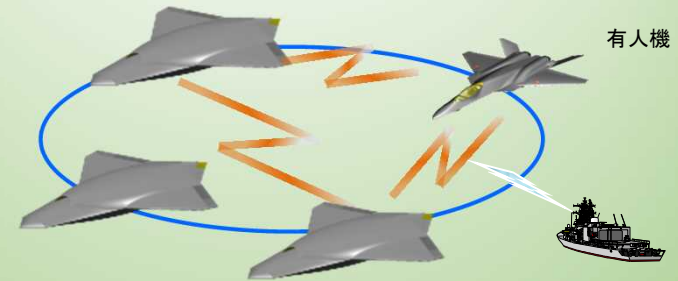
### 将来無人装備の情報優越を担うプラットフォーム

- ◆ 高脅威環境下において、ステルス性を考慮した機体間の連携・協調により、頑強なネットワークの構築を速やかに支援
- ◆ 将来における各種無人機の役割拡大における基盤

### 技術実証の目標・留意事項：安全性重視

- ◆ 概ね10年後を目処に、第3分類無人機を実用化レベル、特に、我が国の運用環境（広大な海域等）を考慮し、安全性確保、さらには運用持続性確保に関する技術の確立に努める
- ◆ ICAOによる国際基準改定やそれに伴う国内制度整備に向けた検討がなされると見込まれる時期であり、関係機関と連携して事業の効果的かつ効率的な実施に努める
- ◆ 実証機のプラットフォームやセンサに掛ける経費を局限し、自律化技術確立及び運用環境構築用のデータ取得等に重点を置く

## 第4分類無人技術実証



### 戦術を支援する高度な自律化

- ◆ 戦況から、各機が取るべき戦術を生成して人間に伝達し、任務遂行能力の向上と人間のワークロードの低減を実現

### 無人機特有飛行

- ◆ 有人機には不可能な機動により、高脅威下において任務遂行能力と生存能力を向上

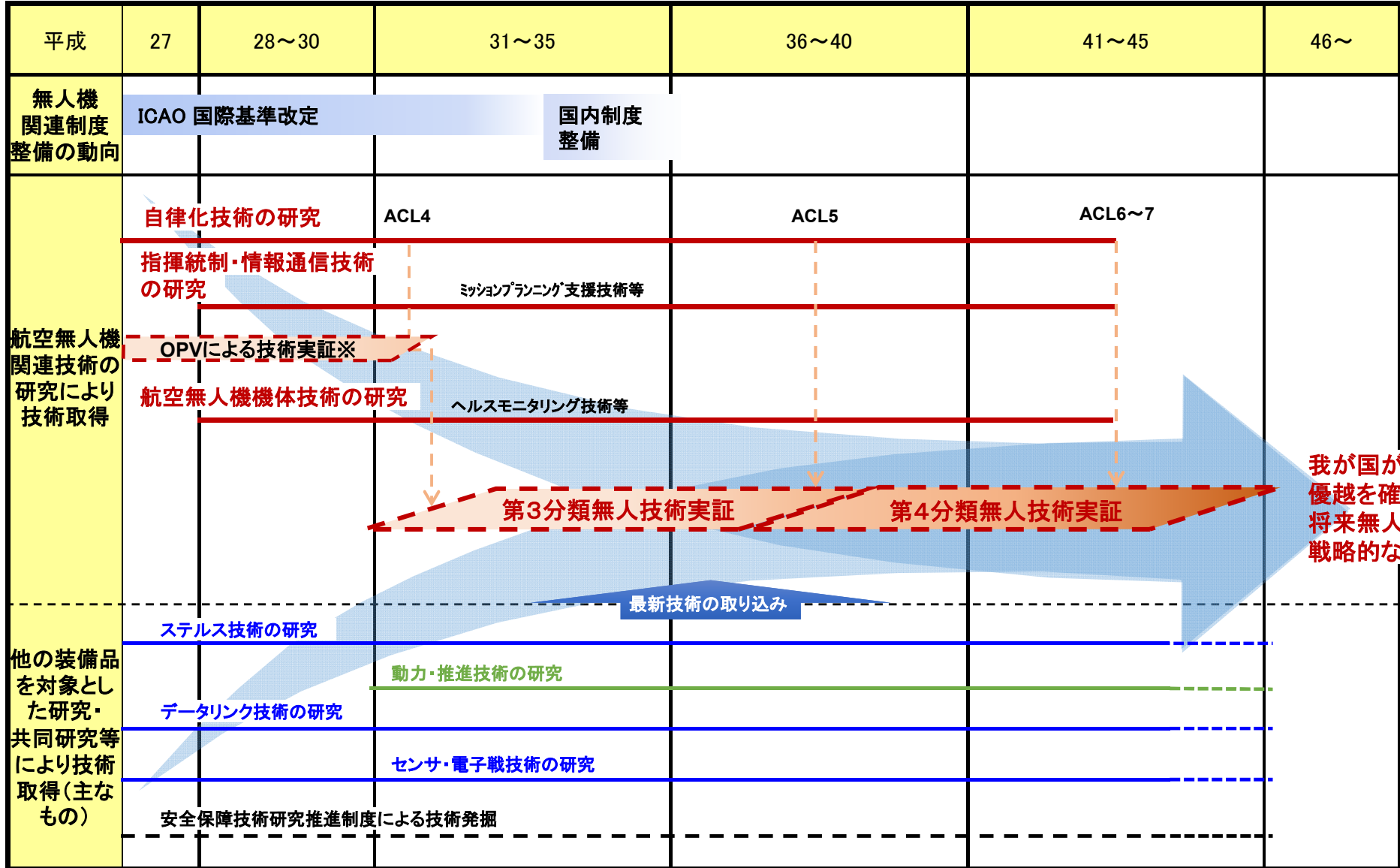
### 技術実証の目標・留意事項： 先進的な無人機の開発能力獲得

- ◆ 概ね15-20年後を目処に、第4分類の無人機群と有人機の連携行動を実現するための高度な自律化技術を獲得する
- ◆ この時代における先進的な無人機の開発能力獲得のため、高アジリティ飛行技術、メタマテリアルを用いたステルス技術、モーフィング構造技術、バイスタティックレーダ技術等のリスクの高い課題解決に計画的に取り組む
- ◆ 短期的取り組みで用いた実証機の機体プラットフォームとの共用化を極力図る等、開発期間・経費の低減に努める

注 研究成果や運用コンセプトの検討に関する進捗等を踏まえ、無人技術実証のあり方や目標設定については適宜見直していく。

# 13 研究開発（航空無人機）の取り組み 研究開発ロードマップ

赤: 防衛省が行う必要のある航空無人機関連研究 青: 他の装備品の研究成果等を活用 緑: 民生分野または共同研究の成果を活用



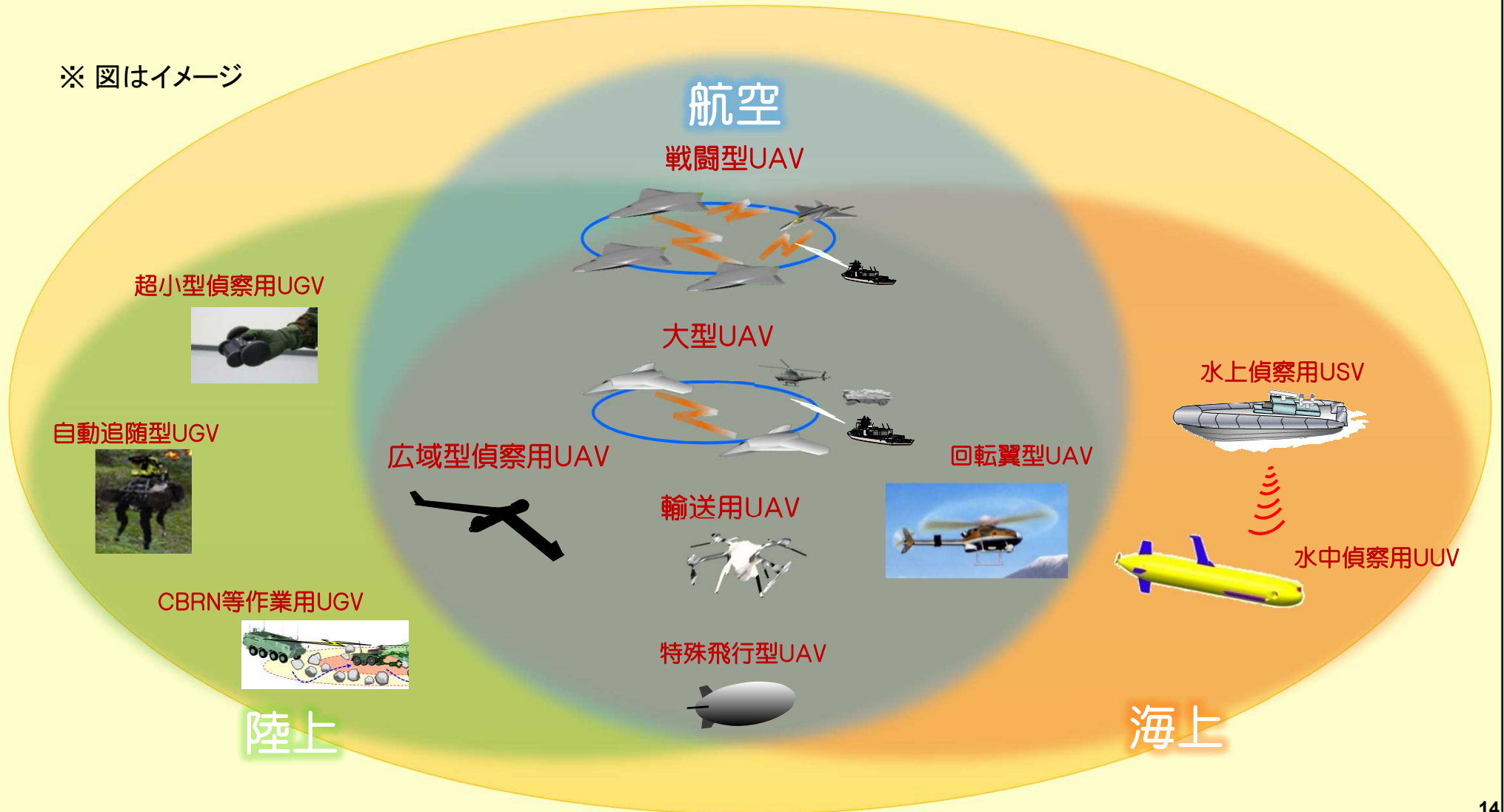
※ 航空機に搭載した小型赤外線センサによる弾道ミサイル警戒監視システムを実現するためのシステムインテグレーションに必要な技術についての研究(着手済み)

注 具体的な研究開発事業の実施に当たっては、運用面、技術面、コスト面から検討を十分に行う。

## 14 研究開発成果の活用

本研究開発ビジョンを端緒として獲得する**無人装備技術**を他の分類の航空無人機、各種陸上及び水上・水中無人機に**適時適切に反映**していくとともに、**必ずしも必要な機能性能やその運用方法について明らかではない無人装備について、統合運用の観点**を踏まえて導出された**将来的な自衛隊のニーズに適合**した無人装備を検討していく。

※ 図はイメージ





## 15 無人装備（航空無人機以外）のこれまでの研究成果

### 防衛省におけるこれまでの研究成果（陸上無人機）

- **マイクロUGV技術**についてこれまで研究を実施。研究成果を反映し、陸上自衛隊にて平成27年度に**屋内人物捜索装置**を調達
- 小型UGVである**爆発物対処用ロボット技術**の研究を実施。研究成果を反映し、平成23年度に**爆発物対処用UGV**を陸上自衛隊にて調達
- 中型UGVを想定した**車両型無人プラットフォーム技術**の研究を実施し、自律化技術を取得。現在、多目的自律走行ロボットの研究において、自律化技術、環境変化へのロバスト性、モジュール化技術について研究中
- 大型UGVである**CBRN対応遠隔操縦作業車両システム**の研究を実施中であり、複数車両の遠隔操縦指揮統制技術、CBRN・災害対応車両技術、周囲環境認識技術を研究中

爆発物対処用ロボット



マイクロUGV



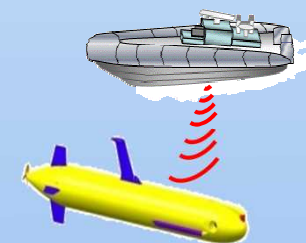
CBRN対応遠隔操縦作業車両



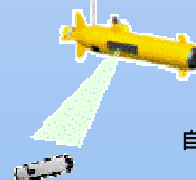
### 防衛省におけるこれまでの研究成果（水中・海上無人機）

- **無人航走体の要素技術**の研究を平成26年度まで実施。UUV・USV並列航走制御技術、水中自律行動技術、水中データ通信技術、UUV航続持続技術（12時間以上）を蓄積
- 現在、**先進水中音響通信ネットワーク及びUUV長期運用システム**の研究を実施中であり、先進水中データ通信技術、発電システム技術、燃料供給技術について研究中
- また、水中音響による機雷探知を自立的に行う**自律型水中航走式機雷探知機**を開発中。当該機は海上自衛隊で運用される予定

無人航走体構成要素の研究



自律型水中航走式機雷探知機



# 16 無人装備（航空無人機以外）の技術課題の例

## 陸上無人機

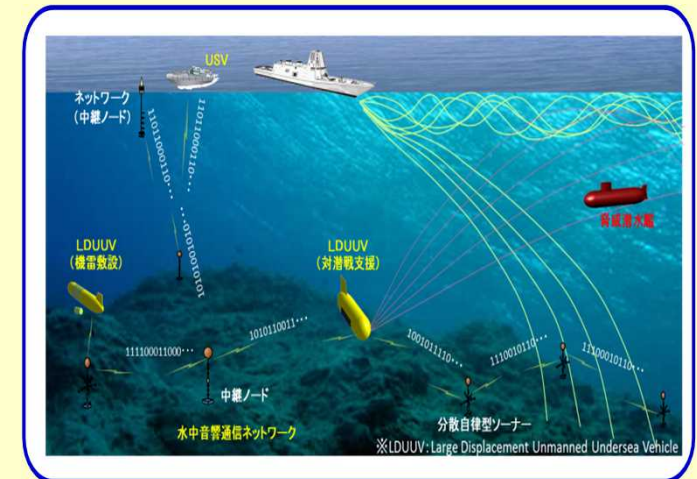
項目	主要構成技術	技術適用の効果
プラットフォーム	車両技術	小型車体技術 強靱で高機動力な小型UGV
		CBRN・災害環境対応技術 汚染及び災害時等の過酷環境に対応可能
		二足歩行技術 階段の昇降やドアの開閉を行い、隊員の作業の代替を行い、安全性を向上
自律・指揮統制	自己制御・群制御	環境変化へのロバスト性 周囲地形や天候変化の環境認識等による無人装備の活用環境の拡大
		遠隔操縦指揮統制技術 複数車両に対し、簡易な操作指揮による運用者の負担軽減
	協調行動	隊員・無人機協調行動技術 隊員と無人機が協調して有機的に任務遂行
		複数無人機連携行動技術 複数無人機で協調して効率的な行動
ペイロード	作業装置技術	搭載器材モジュール化技術 ハードウェア・ソフトウェアのインターフェース共通化を図り、多用途化するとともに開発コストを低減
		ロボットアーム技術 感覚フィードバックによるアーム作業の高精度化

導出される研究開発ビジョンのイメージ



## 水上・水中無人機

項目	主要構成技術	技術適用の効果
プラットフォーム	動力技術	発電システム技術 燃料電池等による長時間運用を可能
		燃料供給技術 水中環境で燃料電池を安定的に使用可能
自律・指揮統制	自己制御・群制御	水中無人機航法補正技術 水中における正確な位置を把握
		障害物回避技術 複数無人機の安全な自律航走を実現
	協調行動	水上・水中無人機並列航走制御 水中・水上無人機の協調連携行動
ペイロード	水中探知	音響信号処理技術 警戒監視や機雷等の探知能力の向上
		音響センサ技術 警戒監視や機雷等の探知能力の向上
	水中通信	水中データ通信技術 水中・水上無人機の協調連携行動



航空無人機との連携運用や各種無人機に共通な基盤技術を活用することで効率的な研究開発が期待できる  
陸上・水上・水中無人機についても研究開発ビジョンを検討していく

## 17 おわりに

### 主な研究開発の進め方と効果

- ◆無人装備の手始めとして、航空無人機の研究開発ビジョンを中心に示したものであるが、**コンセプトやロードマップについては技術の進展等に応じて適宜見直す**こととする。戦略的に重要な技術分野における最新の研究開発は、我が国の技術基盤の育成・強化や優位性のある装備品の創製に繋がるものと期待される。
- ◆欧州のUCAV実証機が、ステルス技術の実証に用いられているように、無人機は、航空機の技術実証を有人機よりも安価に行うことが期待される。また、無人機で培った技術を有人機にフィードバックすることにより、**有人機的能力向上の効果も期待**される。

### 航空無人機の一般空域飛行に向けた国際ルールの動向を注視

- ◆ICAO(国際民間航空機関)は、**無人機と有人機の統合運用**を目指して、無人機の国際基準作りを急いでおり、具体的には、機体の耐空性、周辺監視システム等の分野で技術的な検討が行われており、2021年の附属書改定の適用を目指している。
- ◆国際的なルールの整備が進めば、ICAOの加盟国の我が国も、国内制度をICAOの基準に適合する形で整備することとなる可能性が高い。**関係府省庁と連携し、試験評価データの提供等国際的な検討に協力することで、我が国の運用に見合ったルールの整備に向けて積極的に取り組むことが重要。**

### 我が国における運用環境の確立

- ◆我が国の国情として、過密な人口や民間航空路など、**高い安全性の確立が何より優先**されるべき課題と認識しており、これを実証的手法により確実に解決するために、まずはOPVを用いて技術確認することや、海上飛行を主として始めることなどの**段階的運用実証**の手法について考慮が必要。
- ◆システム**全体としての信頼性確保**のため、飛行場等の支援施設・構造物についても並行して検討を進める。

**(参考) 将来航空無人機において取り組むべき主な技術課題**



# 取り組むべき主な技術課題（航空無人機）

## プラットフォーム関連

項目	主要構成技術	技術適用の効果	技術獲得の難しさ(技術的リスク)	
機体技術	無人機システム・制御技術	システムインテグレーション	実用的な無人機及び周辺システムの <b>開発能力</b> 獲得	第3、4、5分類については <b>装備品の実運用環境における試験評価</b> が必要
		高アジリティ飛行技術	無人機特有の高い <b>敏捷性実現</b> 、 <b>残存性</b> を向上	有人機の限界を超える高加速度を対象にした研究実績はなく難易度高。 <b>装備品特有の目標設定必要</b>
		ヘルスマニタリング技術	機体(複合材)の異常・損傷等を自ら検知し、 <b>飛行安全の確保</b> 、整備性の向上を実現	実用的な技術の確立に一定の期間を要する。 <b>装備品特有の目標設定必要</b>
		垂直・短距離・不整地離着陸技術	運用施設・設備の制約を緩和し <b>展開能力</b> を拡大	難しさは適用手法により異なる。一部 <b>有人機用技術</b> を流用できる手法もあるが、無人機システムとのインテグレーションが課題
		非GPS航法技術	<b>GPSを使用できない状況下</b> においても航行を可能とすることで、任務を継続しつつ <b>安全な飛行</b> を実現	他の装備品にも共通する技術ではあるが、基盤的な段階。 <b>民生分野</b> の自己位置・地図同時作成(SLAM)技術の <b>成果を適用できる可能性</b> あり。ただし、任務に特化した信頼性確保など <b>装備品特有の目標設定必要</b>
	ステルス技術	形状設計・電波吸収技術	機体形状等による電波反射特性の最適化により <b>被探知性能</b> を向上	<b>研究中の有人機用技術</b> を流用できる可能性。センサ性能向上に応じ継続的取組必要
		メタマテリアル技術	機体材料による電波反射特性の最適化により <b>被探知性能</b> を向上	要素研究の段階であり、実現まで長期間を要する。 <b>他の装備品にも共通</b> する技術
		IRステルス技術	熱源の遮蔽等により赤外線センサに対する <b>被探知性能</b> 向上	配置上の工夫、排気温度を下げる工夫等、 <b>有人機用技術</b> を流用できる可能性
	機体構造技術	一体化・ファスナレス構造技術	<b>軽量化</b> 、 <b>滞空時間の向上</b>	実用化に向けた実証が必要。 <b>研究中の有人機用技術</b> を流用できる可能性
		モーフィング構造技術	飛行条件に応じた機体形状の最適化により飛行効率を改善し、滞空時間を向上	研究の端緒についた段階、実現には長期間を要する。 <b>装備品特有の目標設定必要</b>
動力・推進技術	小型高出力エンジン技術	ハイパワースリムエンジン技術	<b>安全性確保</b> の上でエンジンの小型高推力化により無人機の機動性、運動性、任務継続性を向上	実用的なエンジンの開発に一定期間を要する。 <b>研究中の有人機用技術</b> を流用できる可能性。異常発生時の対応など無人機の特性に応じた課題を要検討
		ラムジェット複合サイクル技術	<b>極超音速</b> の実現による無人機の用途の拡大	実用的なエンジンの開発に長期間を要するが、 <b>共同研究による効率化</b> の可能性
		デトネーションエンジン技術	エンジンの高効率化により無人機の <b>滞空時間を向上</b>	実用的なエンジンの開発に長期間を要するが、 <b>共同研究による効率化</b> の可能性
	電動推進システム技術	ハイブリッド動力技術	動力の高効率化により <b>滞空時間を向上</b>	実用的なシステムの開発に一定の期間を要する。 <b>民生分野の研究成果を適用</b> できる可能性
		軽量・高効率電源技術(太陽電池、再生型燃料電池等)	全電気化された無人機の <b>滞空時間を大幅に向上</b>	実用的なシステムの開発に長期間を要するが、 <b>民生分野の研究成果を適用</b> できる可能性
		無線給電技術	電気化された無人機の <b>滞空時間を大幅に向上</b>	実用的なシステムの開発に長期間を要するが、 <b>民生分野の研究成果を適用</b> できる可能性

赤: 防衛省が研究開発する必要のある技術

青: 他の装備品の成果を活用できる可能性のある技術

緑: 民生分野または共同研究の成果を活用できる可能性のある技術 19

# 取り組むべき主な技術課題（航空無人機）

## 自律化・指揮統制関連

項目	主要構成技術	技術適用の効果	技術獲得の難しさ(技術的リスク)
自律化・知能化技術	自己制御技術	自機状況判断・対処等(ACL3まで※)	行動計画の実行のため、故障や状況変化の認知・回避判断が可能なレベルの実現
		交戦規定適用、飛行制御則再構築 飛行経路の自動再生成等(ACL4)	行動計画の実行のため、故障や状況変化に対応し飛行経路等を自ら修正可能なレベルの実現
	群制御技術	フォーメーション・衝突回避、空中給油等(ACL5)	グループ単位の行動計画の実行のため、複数機が互いを認知し行動を相互調整可能なレベルの実現
	群協調技術	クラウドシューティング、他機・攻撃状況判断・対処、彼位置推定等(ACL6)	グループ単位の目標達成のため、相対する敵機を認知し、協調行動可能なレベルの実現(4分類)
	知能化任務支援技術	クラウドシューティング(任務再割当て可能)、彼位置推定、空中戦闘機動、他機・攻撃状況判断・対処、複数機任務分担等(ACL7)	グループ単位の目標達成のため、限定領域における敵機の行動を予測し、複数の僚機に任務を割り当てられるレベルを実現(4分類)
指揮統制・情報通信技術	情報通信技術	統合データリンク技術	妨害に強く従来よりも広帯域なデータリンクによる無人機制御の実現
		大容量ミリ波ネットワーク技術	指向性が強く傍受されにくい大容量ミリ波通信によるISR情報の高速伝送・中継の実現
		サイバー攻撃対処技術	通信乗っ取りやなりすまし等による制御妨害への対処、捕獲された無人機に対するマルウェア等のサイバー攻撃対処及び無人機ネットワークを介した被害拡大防止
	指揮統制技術	ヒューマン・マシン・インターフェイス技術	有人機と協調行動する無人機群の効果的なミッション遂行に必要な情報のやり取りを行うためのインターフェイスの実現
		ミッションプランニング支援技術	航空機搭載センサや地上設置レーダ等から得られる複数の情報を統合処理し、適時に無人機群への指示を作成・更新・提示することでオペレータの負担を低減

赤：防衛省が研究開発する必要のある技術

青：他の装備品の成果を活用できる可能性のある技術

緑：民生分野または共同研究の成果を活用できる可能性のある技術

※ ACL (Autonomous Control Level) は米軍で作成された自律能力の指標。遠隔操縦(レベル0)から人間と置き換え可能なレベル(レベル10)まで11段階に分割

# 取り組むべき主な技術課題（航空無人機）

## ペイロード関連

※ 武器技術を除く。

項目	主要構成技術	技術適用の効果	技術獲得の難しさ(技術的リスク)	
センサ技術	電波センサ	高出力・高電力効率レーダ技術	早期のステルス機探知や警戒監視、衝突防止等の周囲状況認識	他の装備品にも共通する技術。警戒監視、衝突防止等の周囲状況認識等の運用に応じた高機能化と小型軽量化・低消費電力化のトレードオフが課題
		バイスタティックレーダ・合成開口レーダ技術	自らは電波を送信せずに他の無人機等からの電波を空中受信し、目標を探知追尾。また、無人機間で協調し、車両の動き等の地上情報を把握する能力の向上を実現	既存技術をベースに、他の無人機との協調や高度な時刻同期、動揺補正による鮮明化及び偏波解析等の高機能化と小型軽量化のトレードオフが課題。民生分野の研究成果を適用できる可能性
	光波センサ	赤外線高解像化技術	より遠方での地形の確認や目標情報の取得が可能となり、スタンドオフ性能の向上を実現	実運用環境を考慮した試験評価を要する。他の装備品にも共通する技術。小型軽量化等が課題
		近・中赤外線画像融合技術	近赤外検知により月明かりの影響によらず安定した画像が取得できるとともに、中赤外検知により遠方目標、陰に隠れた目標探知を実現	近赤外センサの極微光検知技術は、実現まで一定の期間を要する。他の装備品にも共通する技術。小型軽量化等が課題
	情報融合	複合センサ技術	電波・光波等の複合センサ情報並びに複数の無人機からの情報融合・データ抽出による目標探知・状況認識性能等の向上	複合センサ情報を融合する技術は未成熟であり、実現には長期間を要する。他の装備品にも共通する技術。小型軽量化等が課題
	電子戦技術	電子戦支援技術(ES)	通信情報及び電子情報の収集による情報優勢の獲得	研究中の有人機用技術を流用できる可能性。耐環境性、小型軽量化、低消費電力化が課題
電子戦関連		電子攻撃技術(EA) ジャミング	戦闘支援無人機におけるジャミングの実現による電子戦優勢の獲得	研究中の有人機用技術を流用できる可能性。耐環境性、小型軽量化、低消費電力化が課題
		電子防護技術(EP) 対HPM防護	低被探知性、耐妨害性向上による情報優越の確保並びに高出力マイクロ波兵器に対する防護能力向上	研究中の有人機用技術を流用できる可能性。耐環境性、小型軽量化、低消費電力化が課題
ペイロード技術	情報保護	ろ獲等の際の内部情報漏洩・改ざん防止による無人運用の信頼性向上	耐タンパー技術等、他の装備品にも共通する技術。保護対象に応じた実装等の最適化が課題	
	ペイロード	多用途モジュール化技術	プラットフォームの共通化、ミッションの多様化に応じたペイロードの変更を容易化。整備性、将来の拡張性の向上	ペイロードのモジュール化とプラットフォームとの機械的、電気的インターフェースの規格化に一定の期間を要する。装備品特有の目標設定必要

赤: 防衛省が研究開発する必要のある技術

青: 他の装備品の成果を活用できる可能性のある技術

緑: 民生分野または共同研究の成果を活用できる可能性のある技術