



防衛装備庁

研究開発ビジョン

多次元統合防衛力の実現とその先へ
解説資料

宇宙を含む広域常続型警戒監視

令和2年3月31日

防衛装備庁

「研究開発ビジョン」とは

「研究開発ビジョン」とは、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、今後の我が国の防衛に必要な能力の獲得に必要な技術について、基本的な考え方を示した上で、技術的課題やロードマップを提示した文書です。

これまで、防衛省は、平成22年に「将来戦闘機に関する研究開発ビジョン」、平成28年に防衛生産・技術基盤戦略及び防衛技術戦略に基づき「将来無人装備に関する研究開発ビジョン」を策定したところですが、今般、「平成31年度以降に係る防衛計画の大綱」に示された方向性を踏まえ、多次元統合防衛力の実現に資するとともに、今後の更なる防衛力の強化に必要となる技術革新を実現すべく、新たに「電磁波領域」、「宇宙を含む広域常続型警戒監視」及び「サイバー防衛」といった新たな領域における能力の獲得・強化や「水中防衛」及び「スタンド・オフ防衛能力」といった従来の領域における能力の強化につながる研究開発ビジョンを策定することとしました。

防衛省は今後、本研究開発ビジョンを踏まえつつ、将来必要となる技術を戦略的に育成し、効果的・効率的に研究開発を行ってまいります。

注 装備化を見据えた開発に着手するか否かは、本研究開発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、防衛力整備や、財政状況を踏まえ、総合的に判断されます。

目次

| | |
|------------------------|----|
| 研究開発ビジョン本冊との対応表 | 2 |
| はじめに | 3 |
| 広域常続型警戒監視システムの課題 | 4 |
| 防衛省・自衛隊として獲得すべき技術 | 5 |
| 広域常続型警戒監視機能（電波・光波）の分類 | 6 |
| 広域常続型警戒監視（電波） | 7 |
| 求められる先進技術 | 7 |
| 研究開発の取組の方向 | 8 |
| 取り組むべき主な技術課題 | 9 |
| 広域常続型警戒監視（光波） | 10 |
| 求められる先進技術 | 10 |
| 研究開発の取組の方向 | 11 |
| 取り組むべき主な技術課題 | 12 |
| 研究開発ロードマップ | 14 |
| 技術獲得後の将来像 | 15 |
| おわりに | 16 |
| 参考 | |
| 防衛省におけるこれまでの取組及び国内外の動向 | 17 |

主な研究開発ロードマップ (p.14)
おわりに (p.16)



はじめに (p.3)

広域常続型警戒監視システム
の課題 (p.4)

防衛省におけるこれまでの
研究成果及び国内外の動向
(p.17-21)

宇宙を含む広域常続型警戒監視の取組～警戒監視の広域化・常続化・高機能化

意義と課題

周辺国の活動の活発化、監視対象・領域の拡大の中、**センサーの探知能力の向上とセンサープラットフォームの増加**による効率的な警戒監視の実現が課題

| 項目 | 現状 | 課題 |
|--------------|---|---|
| センサー探知能力 | <ul style="list-style-type: none"> 従来のセンサー探知能力を上回る警戒監視対象領域・エリアの拡大 監視対象の種類及び量の増加に伴うセンサー識別能力の向上必要 照射機会が限定され、低被探知性の向上した目標の探知が必要 アクティブ捜索による被探知・被攻撃の可能性 越外国のA2/AD能力の向上に伴う警戒監視実施の困難化の可能性 | <ul style="list-style-type: none"> 宇宙、見通し外等の様々な領域での常続的な警戒監視能力の強化 多種多様な目標に対する高精度かつ高速なセンサー識別能力の獲得 耐妨害性に優れ、複数のプラットフォーム及びセンサーを組み合わせた分散的仕組みによる探知（分散探知）の実現 アクティブ捜索機会の増強及びパッシブでの多種多様な目標への探知能力の向上 無人機等を活用した脅威下の常続的な警戒監視能力の獲得 |
| センサープラットフォーム | <ul style="list-style-type: none"> 警戒監視領域、対象増加に伴い、警戒監視の効率化のためのプラットフォームの増加が必要 | <ul style="list-style-type: none"> 警戒監視プラットフォームとして無人機、衛星等の無人プラットフォームを活用するためのセンサーの搭載性向上 |

様々な領域、エリア及び多種多様な目標に対する常続的な警戒監視を実現するための**センサーの高機能化・高性能化**を実現しつつ、**センサーの搭載性を向上**して警戒監視プラットフォームを増加し、多数のセンサー・プラットフォームを組み合わせた**パッシブ分散探知**により、脅威下におかれた困難な領域の常続的警戒監視を実現するための技術獲得が必要

防衛省・自衛隊として獲得すべき技術

各種プラットフォームへの搭載性を向上し、多数のセンサーによる高機能・高性能な分散探知を実現するための電波センサー技術及び光波センサー技術の獲得が必要。

特に宇宙に関する各種技術の獲得は防衛装備庁単独では困難なため、JAXA等の関係機関や米国等の関係国との連携及び民生技術の積極活用により獲得。また宇宙領域における機能保証のため、宇宙利用の抗たん性確保の観点から、JAXA等の関係機関と技術協力を進める。

| 光波センサー | 電波センサー |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 高機能化・高性能化 搭載性向上 パッシブ・分散 | <ul style="list-style-type: none"> 先達探知技術 データ融合技術 |
| <ul style="list-style-type: none"> 衛星搭載光波センサー技術 小型化技術 軽量化技術 省電力技術 低コスト化技術 搭載性向上技術 | <ul style="list-style-type: none"> 先達マルチスタティックレーダー技術※3 センサーリソースマネジメント技術 |

※1. SAR/ISAR：運動により目標に大きなアンテナを形成し、射撃角を向上させたレーダー。SARはセンサー単一の運動を、ISARは目標物の運動を利用する。
※2. 宇宙空間監視システム（CSPI）は防衛省が開発。軌道に存在する衛星の位置を高精度で観測するシステム。
※3. マルチスタティックレーダー：異なる位置にある1以上の送信機と1以上の受信機を用いるレーダー。

防衛省・自衛隊として獲得
すべき技術 (p.5)

求められる先進技術 (p.6)

広域常続型警戒監視機能
(電波・光波) 求められる
先進技術、研究開発の取組
の方向、取り組むべき主な
技術課題 (p.7-13)

技術獲得の流れ

※実現が考えられる将来装備品のイメージを示すものであり、開発予定を示すものではない。

短期的には、代表的なものとして、MIMOレーダーや2波長赤外線センサー等の中核技術を確立。その後、センサーの高機能化、搭載性向上等の取組により、監視領域の拡大や搭載プラットフォームの多様化を通じ、先進的な分散探知を実現

| | 2019～2023 | 2024～2028 | 2029～2038 |
|--------|---|---|---|
| 電波センサー | 見通し外レーダー技術 見通し外監視システム 先進マルチスタティックレーダー技術 MIMOレーダー 分散探知センサー技術 | 見通し外レーダー技術 見通し外監視システム 先進マルチスタティックレーダー技術 MIMOレーダー 分散探知センサー技術 | 見通し外レーダー技術 見通し外監視システム 先進マルチスタティックレーダー技術 MIMOレーダー 分散探知センサー技術 |
| 光波センサー | プラットフォーム搭載型 先達探知技術 | 小型、精密、低消費電力化 広域探知、自動目標探知・識別等 2波長赤外線センサーの技術実証 | 無人機搭載警戒監視システム 高精度警戒監視システム (SSAレーダー) 分散探知警戒監視システム |

● 研究開発等により獲得 ● 継承技術の取込みにより獲得
※ 緑の枠は一例に過ぎず、迅速な研究開発の考え方に従い、技術の早期獲得に努める

技術獲得後の将来像

無人機を含む多数のプラットフォームを組み合わせて、**脅威下を含む広大なエリア・ドメインにおける多種多様な目標に対する効率的な常続的警戒監視**を実現

※宇宙空間における脅威検知のための能力の確保に必要

分散的警戒監視
無人プラットフォームによる広域監視

監視領域の拡大
宇宙空間監視
見通し外監視

地上監視の強化
衛星監視
電子情報戦術
での監視

技術獲得後の
将来像 (p.15)

我が国周辺における諸外国の活動等の動向

我が国の周辺には、質・量に優れた軍事力を有する国家が集中し、軍事力の更なる強化や軍事活動の活発化の傾向が顕著となっている。

中国は、核・ミサイル戦力や海上・航空戦力を中心に、軍事力の質・量を広範かつ急速に強化している。その際、対衛星兵器の開発・実験を始めとする宇宙領域における能力強化も継続するなど、新たな領域における優勢の確保を重視している。また、東シナ海を始めとする海空域において、軍事活動を拡大・活発化させており、我が国固有の領土である尖閣諸島周辺における公船や海軍艦艇による恒常的な活動、太平洋への多様な経路や部隊構成での高頻度での進出、南シナ海の軍事拠点化等が進行中である。

北朝鮮は、近年、前例のない頻度で弾道ミサイルの発射を行い、同時発射能力や奇襲的攻撃能力等を急速に強化してきた。完全非核化に向けた意思を表明したものの、北朝鮮の核・ミサイル能力に本質的な変化は生じていない。

ロシアは、核戦力を中心に軍事力の近代化に向けた取組を継続することで軍事態勢の強化を図っており、北方領土を含む極東においても軍事活動を活発化させる傾向にある。

警戒監視及び宇宙に関する我が国の取組

「平成31年度以降に係る防衛計画の大綱」において示された、警戒監視及び宇宙に関する我が国の方針は以下のとおりである。

警戒監視については、「全ての領域における能力を活用して、我が国周辺において広域にわたり常時継続的な情報収集・警戒・監視・偵察（ISR）活動を行う」とされており、平時からグレーゾーンへの事態に適切に対応する。

一方、宇宙については、防衛力強化に当たっての優先事項として、「宇宙領域を活用した情報収集、通信、測位等の各種能力を一層向上させるとともに、宇宙空間の状況を地上及び宇宙空間から常時継続的に監視する体制を構築する」ことが示されており、従来からの取組である宇宙状況監視（SSA）体制の構築を含め、宇宙利用の優位を確保するための能力の強化に取り組む。

防衛省における警戒監視に関する研究開発における取組の現状

防衛省は、従来から電波センサー及び光波センサーといった、我が国の警戒監視に必要なセンサーの研究開発・実用化に取り組んできており、宇宙等の警戒監視領域の増加、ドローン（小型UAV）等の警戒監視対象の増加、低被探知化等の能力向上に応じた取組が今後も必要である。



- ① 我が国周辺の広域かつ常時継続的な警戒監視（以下「広域常続型警戒監視」という）は重要
- ② 宇宙領域を活用した情報収集及び宇宙空間の常時継続的な警戒監視が必要
- ③ 警戒監視領域の増加、装備品の性能向上等に応じた警戒監視能力向上のための研究開発の取組が必要

といった理由から、**宇宙を含む広域常続型警戒監視を実現するため、研究開発における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することにより、各種施策を推進する。**

我が国における広域常続型警戒監視に関する課題

センサー探知・類識別能力の向上

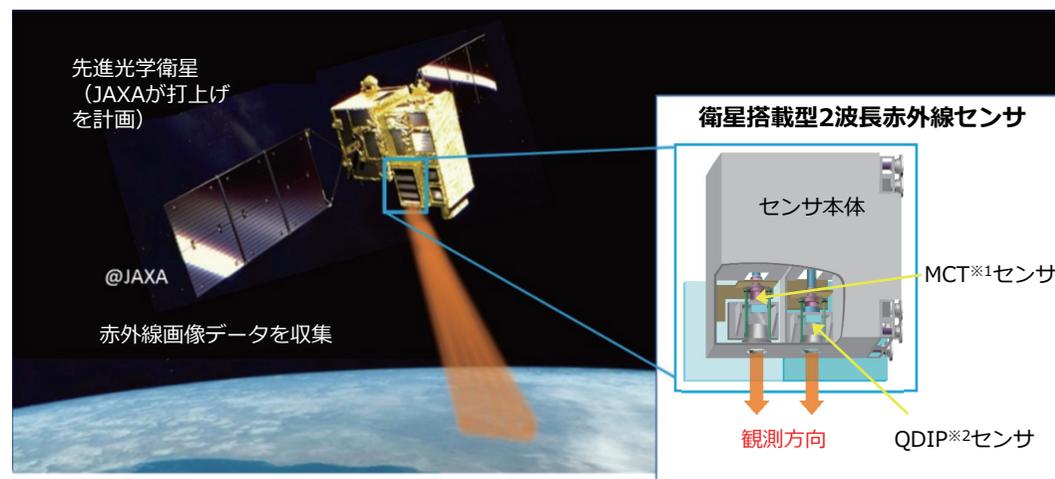
- 宇宙、見通し外等の監視領域の拡大及び対象の増加に加え、諸外国のA2/AD能力の向上に伴う警戒監視の困難に対応するため、我が国が諸外国に対して優位性を有する半導体技術等を活用して、警戒監視に使用されるセンサーの探知能力を向上していくことが必要である。

A2/AD: Anti-Access/Area Denial

- 具体的には、宇宙の監視能力の獲得及び向上、警戒監視領域の拡大、輻射機会が限定され、低被探知性の向上した目標の探知能力の向上、パッシブでの多種多様な目標に対する広域探知及び高精度かつ高速な類識別の向上がそれぞれ必要である。

センサープラットフォームの拡大

- 監視領域、対象の拡大に合わせた効率的な警戒監視の観点及び常続的な警戒監視の省人化・省力化の観点から、センサープラットフォームの種類拡大、特に各種無人機、衛星等の無人プラットフォームの警戒監視への活用が必要である。そのためには、各種無人プラットフォームに搭載可能な小型高性能低消費電力かつ低コストなセンサーを開発する必要がある。
- センサープラットフォームの拡大に合わせて、複数プラットフォーム間での分散遠距離探知・情報融合・複合センサー技術を向上させ、電子攻撃等を受けることが想定される脅威下において、抗たん性を確保しながら警戒監視することが必要である。
- 宇宙に関する各種技術の獲得は防衛装備庁単独では困難なため、JAXA等の関係機関や米国等の関係国との連携及び民生技術の積極活用により獲得することが必要である。

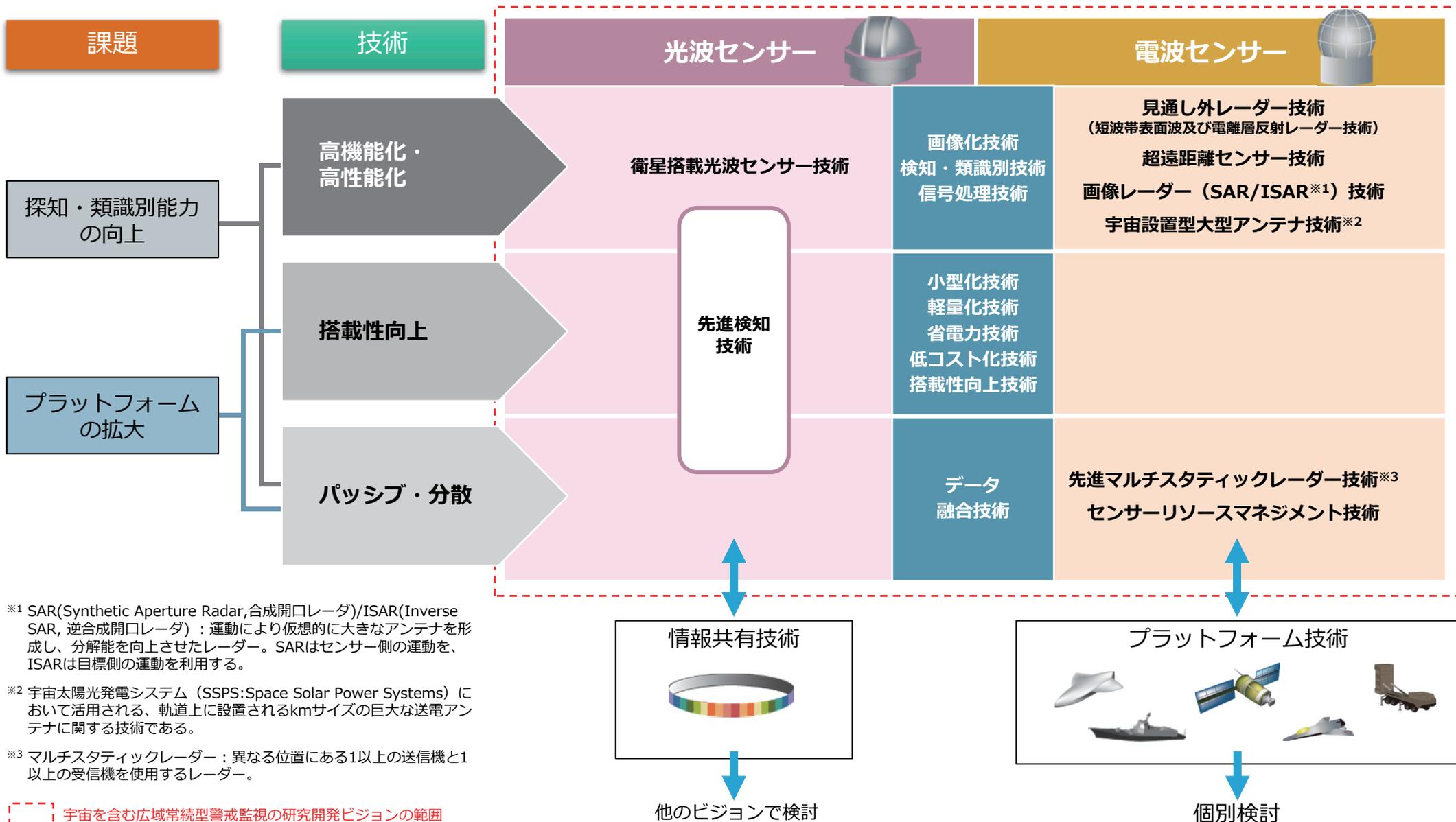


「衛星搭載型2波長赤外線センサ」のイメージ

※1 MCT:Mercury Cadmium Telluride, 水銀カドミウムテルル合金。

※2 QDIP:Quantum Dot Infrared Photodetector, 量子ドット型赤外線検知素子

防衛省・自衛隊による広域常続型警戒監視の実現に必要な技術

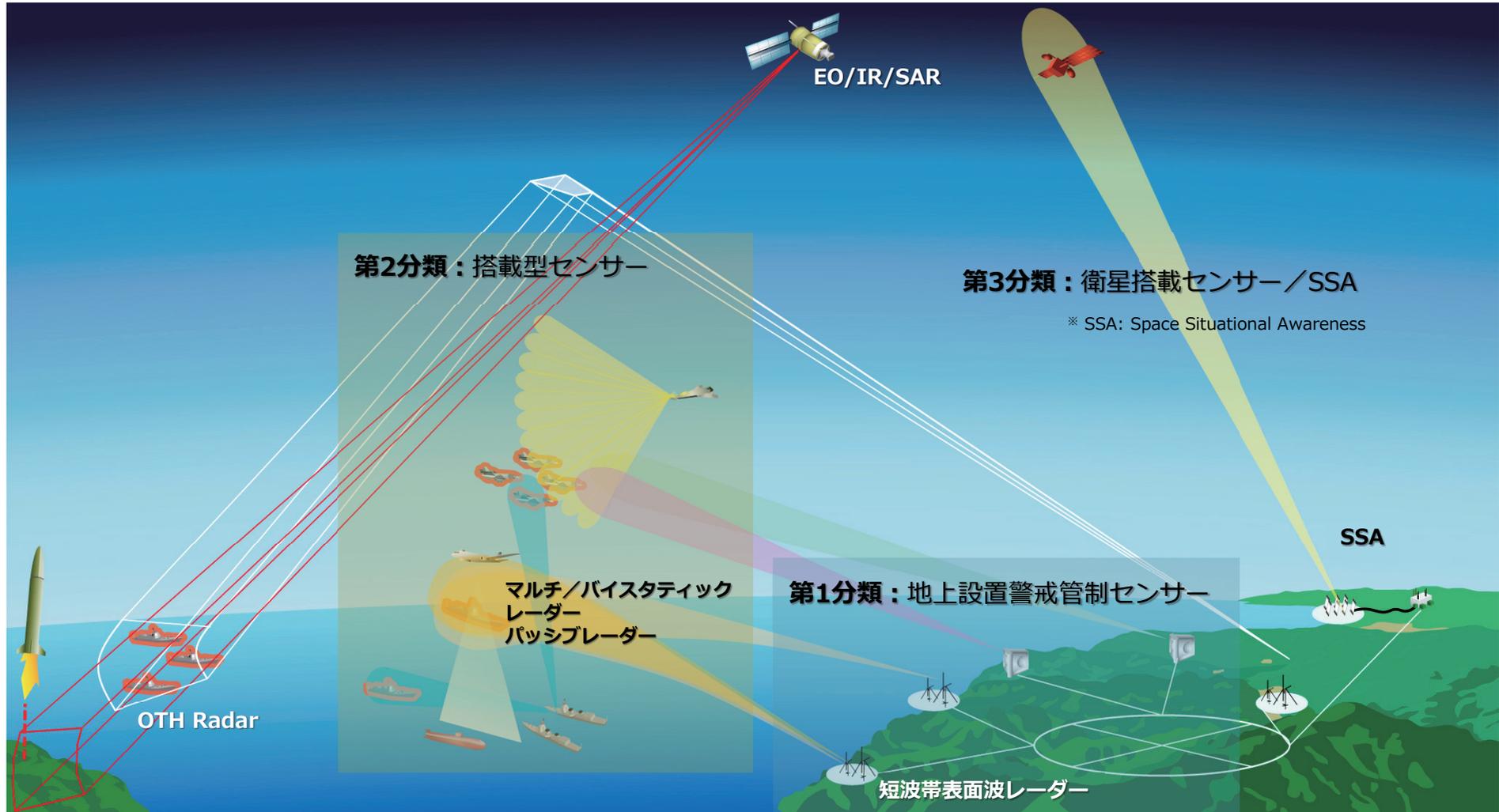


※1 SAR(Synthetic Aperture Radar,合成開口レーダ)/ISAR(Inverse SAR, 逆合成開口レーダ)：運動により仮想的に大きなアンテナを形成し、分解能を向上させたレーダー。SARはセンサー側の運動を、ISARは目標側の運動を利用する。

※2 宇宙太陽光発電システム (SSPS:Space Solar Power Systems) において活用される、軌道上に設置されるkmサイズの巨大な送電アンテナに関する技術である。

※3 マルチスタティックレーダー：異なる位置にある1以上の送信機と1以上の受信機を使用するレーダー。

宇宙を含む広域常続型警戒監視の研究開発ビジョンの範囲

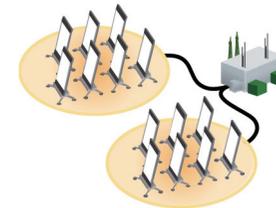


| 分類 | 内容 |
|------------------------|---|
| 第1分類 (地上設置警戒管制センサー) | 地上設置型の装置であり、常続的に領空領海を監視する機能を有するもの |
| 第2分類 (搭載型センサー) | 無人機を含む航空機、艦船又は車両等のプラットフォームに搭載する装置であり、搭載プラットフォームにおいて目標搜索する機能を有するもの |
| 第3分類 (衛星搭載センサー/SSA) | 衛星搭載センサー及び宇宙監視センサー等の宇宙関連装備 |

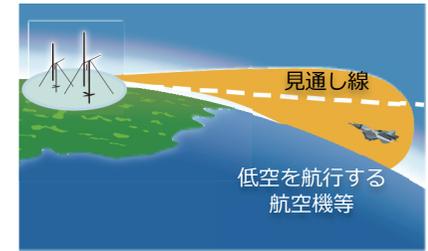
※ MIMO: Multi-Input Multi-Output

広域警戒監視機能（電波）の技術的進展

- 防衛装備庁においては、警戒監視を担うレーダーシステムとして、地上設置型、航空機搭載用、艦船搭載用や車両搭載用など各種プラットフォームで運用されるレーダーシステムを多数実用化。近年は、MIMO※技術を導入した警戒管制レーダーシステムの研究を完了したところ（平成30年度から開発へ移行）
※ MIMO: Multi-Input Multi-Output
- また、地上からの見通し線外を常時継続的に警戒監視するための新たなシステムとして、短波帯表面波レーダーの研究を実施中
- 30大綱において、「宇宙空間の状況を地上及び宇宙空間から常時継続的に監視する体制を構築する」とされているところ、防衛装備庁が有する警戒管制レーダー関連技術に係る知見の有効活用が期待される
- 民間においては、レーダーシステムの基盤となる半導体技術や信号処理技術の研究開発が進展しており、特に半導体関連技術に関しては諸外国に比べ優位性が高い



警戒管制レーダー



見通し外レーダー
(短波帯表面波レーダー)

今後の進展の方向性

- 我が国の領土及び海空域に加え宇宙空間を含めた、**広大な領域を常続的に警戒監視する能力の向上**が求められる
- 広域警戒監視能力の向上のうち、従来アセットに新たに必要となる**見通し外を常時継続的に警戒監視する能力**および**遠距離の衛星等の類識別能力**の獲得が求められる
- 移動型プラットフォームにおいては低被探知性の観点から電波放射機会は局限されることが想定されるため、**瞬時に広い覆域を探索する能力の獲得**や、パイ/マルチスタティック化が必要
- 半導体技術など諸外国に対し優位性のある基盤技術については、民間の技術の積極的な活用を図る
- レーダーによる探知目標の類識別を高精度かつ高速とするため、人工知能等の革新的な技術について、その適合性を確認し、要すれば活用を図る。

広域警戒監視（電波）の実現で鍵となる先進技術

- 常時継続的な警戒監視を実現するため、**見通し外レーダーによる常続的な警戒監視能力を確保**するため、短波帯送受信技術、表面波レーダー信号処理技術、表面波レーダー目標融合技術及び電離層観測推定技術が必要
- 広域の警戒監視を実現するため、**超遠距離の目標搜索・高精度かつ高速な類識別能力**を獲得するためには、熱雑音低減による受信感度の向上や更なる省電力化並びに限られた帯域幅での**高分解能化による弁別技術及び人工知能等の活用を考慮すること**などが必要
- 移動型プラットフォームにおいては、**瞬時に広い覆域を探索するエレメントDBF※化**及び広帯域化、並びにそれらを活用したパイ/マルチスタティック化の技術が必要

※ DBF: Digital Beam Forming

広域常続型警戒監視の実現に向けて、最も高度で長期の技術開発を必要とする
見通し外レーダー、宇宙監視等の超遠距離センサー、エレメントDBFの研究開発を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

運用環境構築の観点

- 地上設置の警戒管制網は、これまでの研究成果を反映した開発試作も計画されており着実な機能強化が図られているが、見通し外の常続的な警戒監視機能の実現に関しては、実用段階に至るには解決すべき課題が残されている。
- プラットフォーム搭載用のセンサーは、ステルス化がもたらす電波使用が局限化された環境において、瞬時広覆域検索が求められるところ、自身が電波を放射しないパッシブ運用（バイ/マルチスタティック検索含む）を実現する技術は実用化の段階にない。また、効率的な検索能力を担保するため耐妨害性の向上も必要となる。
- 宇宙空間等の超遠距離の常続的な監視機能の実現に関しては、遠距離目標の探知能力を確保する研究開発に加え、類識別能力の向上のための画像レーダー等による高精度かつ高速な類識別技術の確立が必要である。これらの研究開発に加え、宇宙装備の能力向上ため継続的な研究を実施する必要がある。なお、これらの実現にあたっては国内外の関連機関との協力を積極的に推進し効率的に研究開発を行う必要がある。

効率的な技術確立の観点

- 第1分類**（地上設置警戒管制センサー）：現段階においては、MIMOレーダー等の研究成果を開発へ移行することが優先される。省電力化等の一般的な電子機材への要求は民間技術の成果を適宜導入することが効率的である。見通し外レーダーに関しては国外での実運用例はあるが、**見通し外の航空機や艦船目標を対象とした短波帯レーダーの技術は我が国において現時点でまだ確立しておらず、我が国での環境・条件を踏まえた研究開発が必要**である
- 第2分類**（搭載型センサー）：**将来の電波使用が局限化された環境で瞬時広覆域検索など、将来求められる要素技術の研究が必要**である
- 第3分類**（衛星搭載センサー/SSA）：国外での実運用例はあるが、**宇宙空間を含む超遠距離目標の探知及び高精度な類識別技術は我が国において現時点でまだ確立しておらず、我が国での環境・条件を踏まえた技術研究の実施が必要**である



第1、2及び3分類に属する広域警戒監視技術（電波）のうち所要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へ反映・活用

赤： 主として防衛省が研究開発する必要がある技術

灰色： 他機関との共同研究等により獲得する技術

青： 他の装備品の成果を活用できる技術

水色： 民生分野における進展を待つ技術

| 分類 | 主要構成技術 | 技術の概要 | 技術的課題 | 期待できる効果 | |
|----------|-----------------|--------------------------|--|---|--------------------------------|
| 第1分類 | 見通し外レーダー | 短波帯送受信技術 | 短波帯を用いた表面波レーダーに適した変調技術及び空中線技術 | 短波帯送受信技術 | 見通し外の海域等における艦艇、航空機等の早期探知 |
| | | 表面波レーダー信号処理技術 | ブラッグ散乱等の表面波レーダー特有のクラッタ等を抑圧する技術 | 表面波レーダー信号処理技術 | |
| | | 表面波レーダー目標融合技術 | 短波帯レーダーによる目標探知情報（バイスタティックレーダー含む）のデータ融合技術 | 短波帯レーダー目標融合技術 | |
| | | 電離層観測推定技術 | 電離層反射レーダーの送信制御に必要な電離層の状況を監視する技術 | 電離層観測推定技術 | |
| 第2分類 | 先進マルチスタティックレーダー | エレメントDBF技術 | 全アンテナ素子の受信信号をデジタル化し、信号処理によるビーム形成技術で瞬時広覆域搜索を可能とする技術。任意の広覆域ビーム形成はバイ/マルチスタティックレーダー等のパッシブ運用、耐妨害性の向上に寄与する | 瞬時広覆域搜索を実現できるエレメントDBF技術 | 目標からのレーダーの反射波等の広覆域、広帯域での瞬時探知 |
| | | デュアルバンド広帯域技術 | L又はS帯からX帯など、広い範囲の周波数帯に対応するためのアンテナ技術 | 広範囲の周波数帯に対応できるデュアルバンド広帯域技術 | バイ/マルチスタティックレーダー等の実現による耐妨害性の向上 |
| 第3分類 | 超遠距離センサー | 帯域補完技術 | 探知目標の類識別を実現するために、限られた電波の帯域を補完し擬似的に広帯域化することで分解能を向上する技術 | 限定的な周波数帯域を用いて実環境で高分解能化を実現する技術 | 超遠距離の高速目標の正確な探知・追尾 |
| | | 受信機熱雑音低減技術 | 受信機の冷却による低雑音化技術 | 受信機低雑音化技術 | |
| | | 省電力技術 | 送信増幅器等の高効率化による省電力化技術 | 省電力技術 | |
| | | 複合センサーによる情報補完技術 | 複数のセンサーを用いて双方の情報を補完し探知能力の向上を図る技術 | 実環境で目標探知能力を向上する複合センサーによる情報補完技術 | |
| 画像レーダー技術 | 画像レーダー技術 | SAR/ISAR画像高分解能化技術 | 新しい信号処理方式の採用によりSAR/ISAR画像を高分解能化し、類識別性能の向上を図る技術 | 拡張アレイ技術 | 画像レーダーを用いた高精度かつ高速な目標類識別 |
| | | SAR画像自動類識別技術 | 収集量や観測方位角等の制約がある中で、学習に適した変換を行い、目標を類識別する技術 | データが希少であり、また、目標の方位角によって画像上の目標の見え方が大きく変化するレーダー画像に対して、類識別する技術 | |
| | | ISAR画像自動類識別技術 | 同期処理、積分処理により類識別アルゴリズムにとってのベストショットを自動抽出、類識別する技術 | レーダー画像の動画に対して、ベストショットを抽出し、類識別する技術 | |

広域常続警戒監視（光波）の技術的進展

- 世界的にも可視、赤外線いずれのセンサーも高感度化、多画素化（画素サイズ縮小化）の方向であるが、波長の長い赤外線では、回折限界により画素サイズの縮小には限界が存在。また、高温動作化によるSWaP-C*の低減も盛んであり、読み出し回路を含めたセンサーデバイスのスマート化の方向
 - ※ SWaP-C: Size, Weight, and Power-Cost
- 防衛用途と異なり、民間においては、主としてショートレンジセンシングが中心
- 以下の分野において、我が国は世界的に高い水準
 - ・ 半導体製造技術（設計技術、結晶成長技術）
 - ・ 微細加工技術（メタマテリアル技術）
 - ・ 光学技術（波動光学、精密加工）



※ IRST: Infrared Search and Tracking

個人用赤外線暗視装置

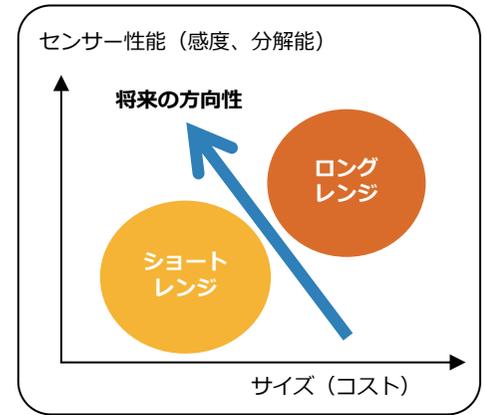


今後の進展の方向性

- 小型・軽量化及び低コスト化が進み、センサー数の増加による監視エリアの拡大、センサーのネットワーク化、無人プラットフォームへの搭載及び個人装備への適用が進展
- 広域警戒監視機能は、光・量子技術等によりロングレンジ、ショートレンジともに全天候性耐環境性を考慮した視認性の向上が期待可能
- 国外の技術進展は著しく、我が国のセンサーデバイス開発技術も当該進展を考慮した対応が必要
- 民生においてIoT、自動運転等に必要センサー技術は秒進分歩であり、装備品の陳腐化の防止のため、防衛用途として今後も民生技術の積極的活用が必要

広域常続型警戒監視（光波）に求められる先進技術

- 高感度、低コスト、小型・軽量化
【新原理、新材料、新構造（メカニズム）】
 - ・ 検知素子（グラフェン等）
 - ・ 光学系（レンズレス等）
 - ・ 検知方式（量子EPR※1等）
- 【既存技術の発展】
 - ・ 検知素子（T2SL※2）
 - ・ 光学系（DOE※3, GRIN※4等）
 - ・ 検知方式（ライダー、超解像度技術、マルチバンド技術）



※1 EPR: Einstein-Podolsky-Rosen
※2 T2SL: Type II Super Lattice
※3 DOE: Diffractive Optical Element
※4 GRIN: Gradient Index Lens

量子もつれ
タイプ2超格子
回折光学素子
屈折率分布型レンズ

最も高度で長期の技術開発を必要とする**広域警戒監視機能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

運用環境構築の観点

- 光波センサーは電波センサーに比べて探知距離に劣る場合があるが、低消費電力、隠密性（パッシブ時）、高分解能に極めて優れているため、それらの特徴を最大限活かす装備品（無人装備を含む。）への活用が望まれる。そのためには、より一層のセンサーの高感度化、小型・軽量化、低コスト化に進むべきであり、それらを実現するには、**積極的な民生技術の吸収と防衛用途への改良及び最適化が必要**である。
- 大気の減衰による影響に対抗できる画期的な光波伝搬技術が求められている。また、実戦経験のない我が国において実用性の高いセンサーを開発するためには、**シミュレーションの活用及びユーザーとの密接なフィールド試験でのデータの蓄積が必要**である。特に、可視～遠赤外線での各大気窓の波長帯において、天候・環境状況（水中も含む。）に応じた伝播特性の変化がどのように運用時に影響し、それらをどのように克服するかという取組が必要であると考えられる。
- 電磁波領域においては、電波妨害の影響が無い光波センサーの役割は非常に大きい。一方、光波センサーへの妨害があっても、マルチスペクトル化等の検知方式の技術によって回避可能であるため、これらの技術向上が今後も必要である。
- 宇宙空間等の超遠距離の常続的な監視機能の実現に関しては、遠距離目標の探知能力を向上する研究開発に加え、高精度かつ高速な類識別技術の確立が必要である。これらの研究開発に加え、宇宙装備の能力向上ため継続的な調査研究を実施する必要がある。なお、これらの実現にあたっては国内外の関連機関との協力を積極的に推進し効率的に研究開発を行う必要がある。

効率的な技術確立の観点

- 第1分類**（地上設置警戒管制センサー）：大気の減衰による影響に対抗できる画期的な光波伝播技術が求められている
- 第2分類**（搭載型センサー）：低SWaP-C化、多波長化、多画素化、高感度化、アクティブセンシング化など、**将来求められる運用場面に応じた研究が必要**である
- 第3分類**（衛星搭載センサー／SSA）：国外での実運用例はあるが、**宇宙空間を含む超遠距離目標の探知及び高精度な類識別技術は我が国において現時点でまだ確立しておらず、我が国での環境・条件を踏まえた技術研究の実施が必要**である



第1、2及び第3分類に属する広域警戒監視機能（光波）の研究開発には複数の共通技術があるため、**第2及び第3分類に属する技術にリソースを重点的に充てる**ことが適当
取得した技術は第1分類を含む全てのセンサーへ反映・活用

パッシブ（1/2）

赤： 主として防衛省が研究開発する必要がある技術

灰色： 他機関との共同研究等により獲得する技術

青： 他の装備品の成果を活用できる技術

水色： 民生分野における進展を待つ技術

| 分類 | 項目 | 主要構成技術 | 技術の概要 | 技術的課題 | 期待できる効果 | |
|------|--------|---------|--------------------------------------|---|--------------------------------------|-------------------------|
| 第2分類 | 先進検知技術 | 検知素子技術 | 高感度SW赤外線検知素子（タイプ2超格子型）技術 | 高感度かつ高温動作可能なSW検知素子が実現できる。 | 高感度を達成するための素子構造 低ノイズ化を実現する素子構造 | 視野内に存在する目標の瞬時の検出 |
| | | | 高感度広帯域低コスト非冷却先進光検知素子（グラフエン）技術 | 可視～LWをカバーできる可能性のある高感度で低コストな非冷却光検知素子 | 検知素子の高感度化及びアレイ化 | |
| | | | 高感度LW赤外線検知素子（タイプ2超格子型）技術 | 高感度なLW検知素子が実現できる。 | 高感度を達成するための素子構造 低ノイズ化を実現する素子構造 | 目標の探知・識別能力の向上 |
| | | | マルチバンド赤外線検知素子（タイプ2超格子型）技術 | 耐妨害性にも効果のある高感度なMW/LW検知素子の2波長1素子化が実現できる。 | 高感度を達成するための素子構造 低ノイズ化を実現する素子構造 | |
| | | 光学系技術 | 広帯域高透過率光学系技術 | 高い透過率で可視～LWをカバーする光学材による光学系が実現できる。 | 候補材のレンズ化（大口径化）、高透過率化（吸収波長の最適化） | 検出可能な波長帯の拡大による高精細な画像の実現 |
| | | | 小型軽量光学系技術 | 個人装備に適用可能な光学系を実現できる。 | 小型・軽量化、DOE、GRIN等光学素子の採用、低コスト化 | アイウェア等の小型の個人装備 |
| | | | 小型表示系技術 | 個人装備に適用可能な表示系を実現できる。 | 視点に違和感のない防衛用の小型表示系、低コスト、低消費電力、多画素化 | |
| | | 検知方式技術 | マルチバンド処理技術 | 耐妨害性にも効果のあるマルチバンド検知による特徴を活かした処理（オプト・サーマルセンサー） | 画像融合処理 | 悪環境下での探知・識別性向上 |
| | | | アクティブセンシング技術 | 光源を用いて任務に適応した運用が実現できる。 | 拡張近赤外光源の開発 | |
| | | | 量子センシング技術 | 環境に影響されにくいアクティブセンシング（イメージング）が実現できる。 | 量子EPR等光源の開発、信号処理技術、実環境での検証、ロングレンジ化 | |
| | | 搭載性向上技術 | 小型・軽量・低消費電力化技術 | 無人装備、個人装備等に搭載可能な小型・軽量・低消費電力化 | 検知素子技術及び光学系技術での課題 冷却型センサーの冷却器の小型化 | 個人用暗視装置の更なる小型化 |
| | | | 汎用性（コモンモジュール）技術 | センサーの交換、更新が低コストかつ容易にできる。 | モジュール単位、対象 | センサーの維持整備性の向上、LCCの低減 |

SW：短波（ShortWave）
LW：長波（LongWave）

GRIN：屈折率分布型（GRaded-INdex）
MW：マイクロ波（MicroWave）

DOE：回折光学素子（Diffractive Optical Element）
EPR：量子もつれ（Einstein-Podolsky-Rosen）

パッシブ（2/2）

赤： 主として防衛省が研究開発する必要のある技術

灰色： 他機関との共同研究等により獲得する技術

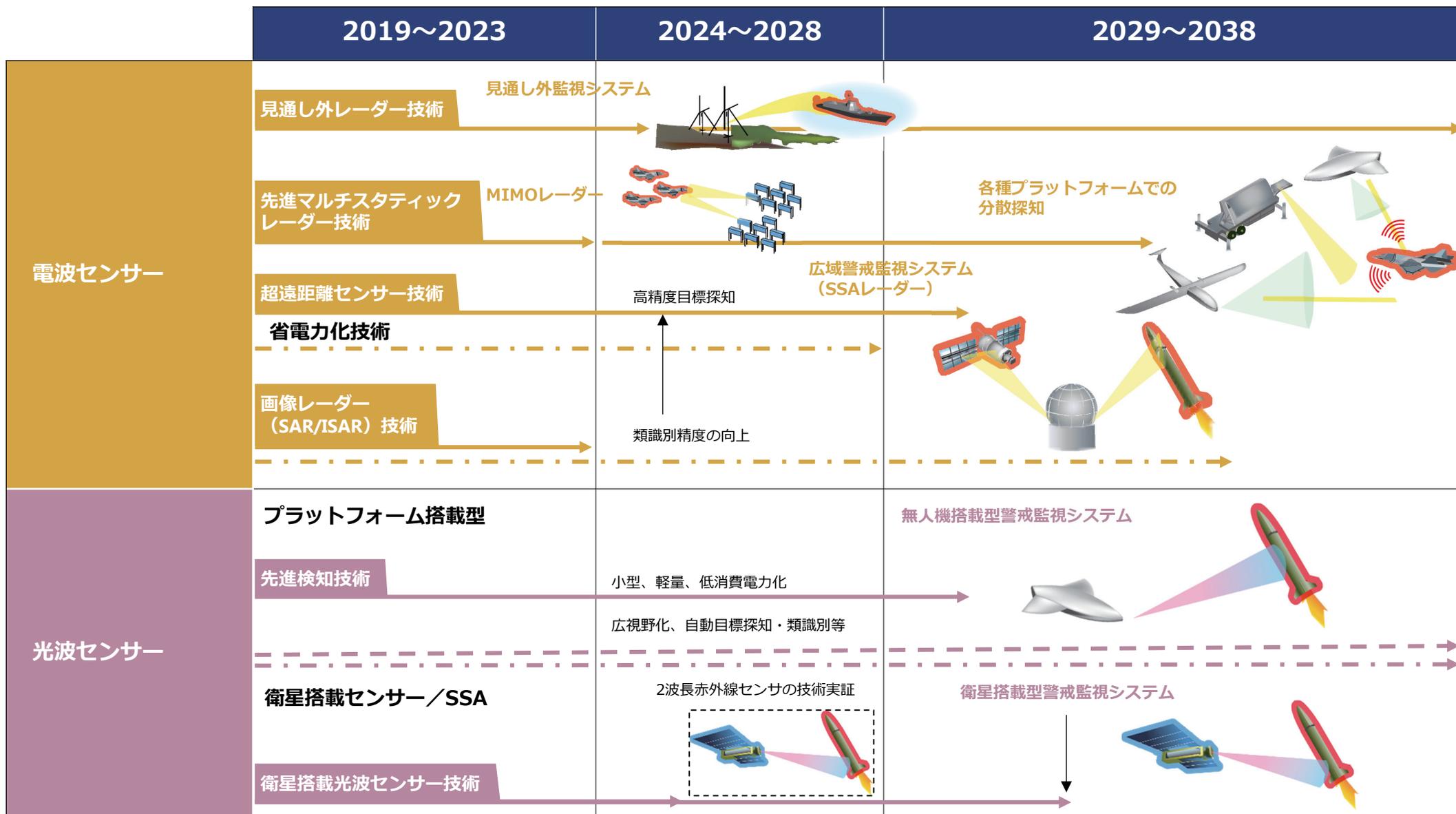
青： 他の装備品の成果を活用できる技術

水色： 民生分野における進展を待つ技術

| 分類 | 項目 | 主要構成技術 | | 技術の概要 | 技術的課題 | 期待できる効果 |
|---------|-----------------|--------------------------|--------------------------------------|---|---|--|
| 第3分類 | 衛星搭載光波センサー技術 | 検知素子技術 | 高感度LW赤外線検知素子（タイプ2超格子型）技術 | 高感度なLW検知素子が実現できる。 | 高感度を達成するための素子構造 低ノイズ化を実現する素子構造 | 目標の探知類識別能力の向上 |
| | | | マルチバンド赤外線検知素子（タイプ2超格子型）技術 | 耐妨害性にも効果のある高感度なMW/LW検知素子の2波長1素子化が実現できる。 | 高感度を達成するための素子構造 低ノイズ化を実現する素子構造 | |
| | | 光学系技術 | 広帯域高透過率光学系技術 | 高い透過率でMW～LWをカバーする光学材による光学系が実現できる。 | 候補材のレンズ化（大口径化）、高透過率化（吸収波長の最適化） | <ul style="list-style-type: none"> 検出可能な波長帯の拡大による高精細な画像の実現 視野の拡大 |
| | | | 広視野光学系技術 | 従来の屈折光学系よりも広視野な光学系を実現できる。 | 広視野を確保するため検知器デューア内に光学系を挿入する技術 DOE、GRIN等光学素子の採用 広視野光学系設計 | |
| | | | 対環境光学窓材技術 | 2波長に対応した対環境性の高い光学窓が実現できる。 | MWの透過率のさらなる向上が課題 | |
| | | 検知方式技術 | マルチバンド処理技術 | マルチバンド検知による特徴を活かした処理（太陽光クラッタの除去、耐妨害能力向上が実現できる。） | 目標類識別性能の向上 | <ul style="list-style-type: none"> 目標の弁別 発射場所の類識別 |
| 搭載性向上技術 | 小型・軽量・低消費電力化技術 | 無人装備等に搭載可能な小型・軽量・低消費電力化 | 検知素子技術及び光学系技術での課題 冷却型センサーの冷却器の小型化 | センサーの維持整備性の向上、LCCの低減 中型無人航空機での警戒監視 | | |
| | 汎用性（コモンモジュール）技術 | センサーの交換、更新が低コストかつ容易にできる。 | モジュール単位、対象 | | | |

アクティブ

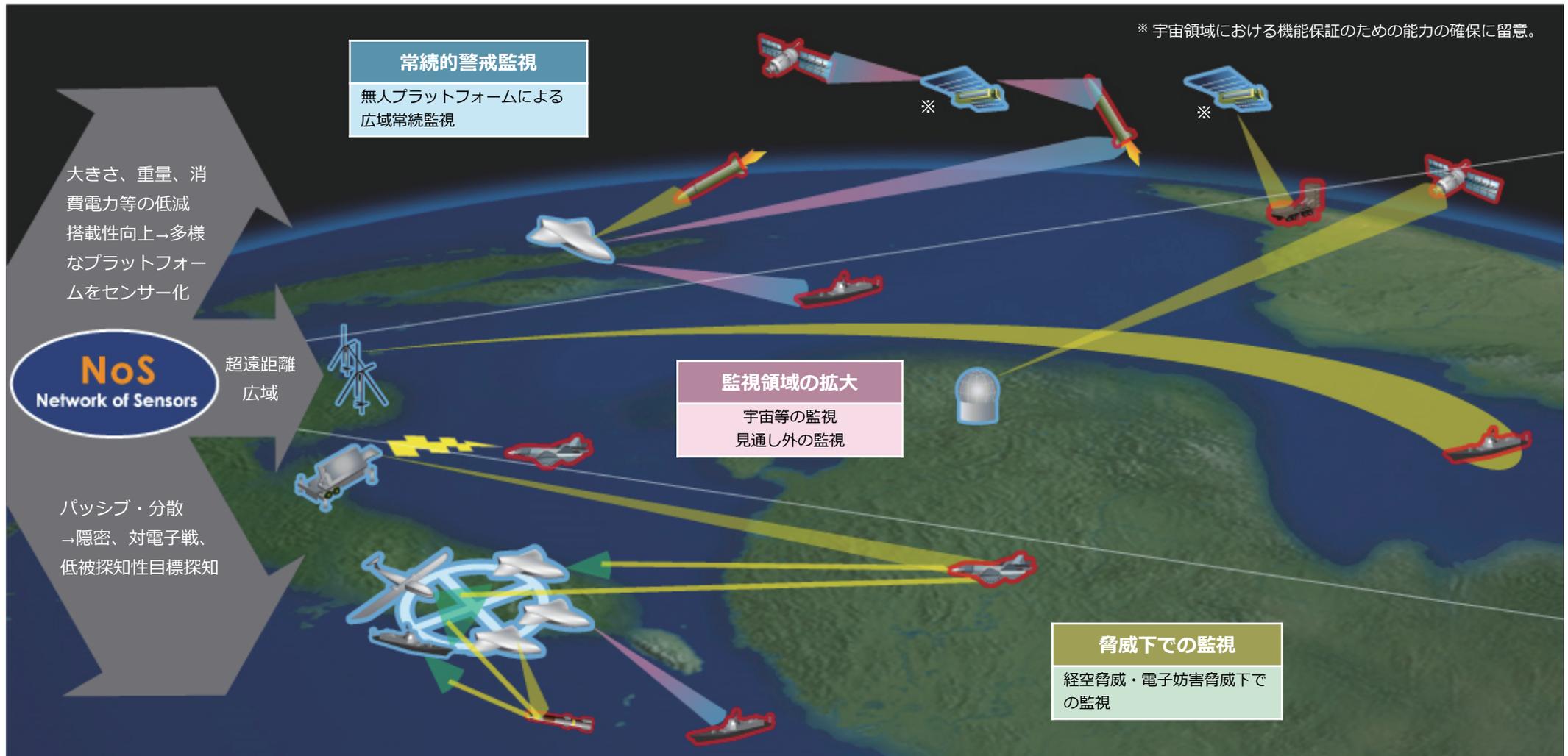
| 分類 | 項目 | 主要構成技術 | | 技術の概要 | 技術的課題 | 期待できる効果 |
|------|--------|-------------------|-----------------|--------------------------------|---------------------------|---|
| 第2分類 | 先進検知技術 | レーザー小型高出力化技術 | 可視レーザー小型高出力化技術 | 可視レーザーの小型化及び高出力化が実現できる。 | 小型化（小型冷却装置等） | <ul style="list-style-type: none"> 無人機を含む、航空機での水中監視 探知距離の増加 |
| | | | 近赤外レーザー小型高出力化技術 | 近赤外レーザーの小型化及び高出力化が実現できる。 | 高出力化、低電力化 小型化（小型冷却装置等） | |
| | | 可視・近赤外レーザー2波長処理技術 | 誤警報低減技術 | 海面上、海中からの誤警報を低減できる。 | 2波長処理（差分処理等） | <ul style="list-style-type: none"> 探知した水中目標の正確な類識別 |
| | | | 波面・流速計測技術 | ドップラーライダー技術を用いて波面・流速の状況を把握できる。 | 海面・海中光伝搬特性（反射・散乱・透過・吸収） | |
| | | | ライダーイメージング技術 | 画像化により、目標の類識別機能を有することができる。 | 必要な分解能の確保 | |



- 主として研究開発により獲得
- - - - 共同研究等により獲得
- . - . 最新民生技術の取込により獲得

注1 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。
 注2 実現が考えられる将来装備品のイメージを示すものであり、開発予定を示すものではない。
 注3 線の終端は一例に過ぎず、迅速な研究開発の考え方に鑑み、技術の早期獲得に努める。

無人機を含む多数のプラットフォームを組み合わせ、脅威下を含む広大なエリア・ドメインにおける多種多様な目標に対する効率的な常続的警戒監視を実現



主な研究開発の進め方

- 電波及び光波センサーに関係する素子、デバイス、信号処理等の技術は日進月歩であることから、本研究開発ビジョンで示した**コンセプトやロードマップについても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。
- 効率的・効果的な広域常続型警戒監視の実現のためには、センサー技術の獲得と合わせて、センサーを搭載するプラットフォームを構成する技術並びに入手したセンサー情報の統合・共有・蓄積等の指揮統制通信に関する技術の進化も必要であるとともに、センサーを用いた搜索方法等の運用に関する事項の検討も必要であることから、センサー技術に関する研究開発は、関連する**技術分野の研究の進展及び運用の検討と歩調を合わせて**実施する。
- 人工知能、量子コンピュータ・センシング・通信といった量子技術等の将来のゲーム・チェンジャーとなりうる技術は、ボーダレス化・デュアルユース化が進展し、特に民生分野において進展が速いことから、国内外の技術の進展に合わせて、継続的な技術向上及び最先端技術の反映に努める。

宇宙等に関する政府・諸外国等の動向を注視

- 宇宙空間の探査及び利用などを規定した「宇宙条約」などの既存の枠組みにおいては、宇宙物体の破壊の禁止やスペースデブリ発生原因となる行為の回避などに関する規定がないため、近年、宇宙活動に関する行動規範や「宇宙活動の長期的持続可能性」についてのガイドラインの策定に向けた国際的な取組が進められているが、政治的な対立やガイドラインの採択方法を巡る意見の隔たりにより最終的な合意には達していない。宇宙における広域常続型警戒監視の実現に当たっては、こういった国際的な取組について注視していく必要がある。また、人工衛星を利用した海洋の監視（MDA：Maritime Domain Awareness）については、政府全体における検討に関与し、MDAの能力強化及び施策の推進に寄与する。
- レーダー等のセンサー、通信機器及び電子妨害用の電子戦機器といった電磁波を利用する電子機器については、オープン・アーキテクチャやモジュール化といった考え方に基づく**技術標準が米陸軍等で作られ**、機器の共通化・多機能化、異なる企業の装備品間の接続の容易化、開発サイクルの短縮化等が進められている。我が国においても、諸外国における電子機器の標準化動向を注視し、装備品の迅速な機能追加・能力向上と装備品の取得コスト抑制という相矛盾する要求を解決する方法を検討していく必要がある。



参 考

防衛省におけるこれまでの
研究成果及び国内外の動向

第1分類（地上設置警戒管制センサー）

- 平成26年度から「短波帯表面波レーダーの研究」にて、短波帯海面クラッタ抑圧技術等、レーダーシステムの確立に必要な技術の研究を実施中である。
- 平成23～27年度の間、「次世代警戒管制レーダー構成要素の研究試作」を実施し、MIMOレーダーの基本原理の検証等を行い、その成果を踏まえて、平成30年度から次期警戒管制レーダー装置の開発に着手した。

次期警戒管制
レーダー装置



第3分類（衛星搭載センサー／SSA）

- 「次世代警戒管制レーダー構成要素の研究試作」（再掲）において確立した分散型レーダーの技術について、航空自衛隊のSSAセンサーシステムにも応用されている。

- ✓ 第1分類については、研究試作を実施中
- ✓ 第2分類については、開発及び装備化の実績有り
- ✓ 第3分類については、研究試作を完了し、開発に着手中

第2分類（搭載型センサー）

- 陸海空各自衛隊において、航空機用（対地監視、対水上・対潜搜索）、艦船用（対空・対水上）及び車両用（対空、戦場監視、対砲迫）の各種搜索レーダーを運用しており、各種研究開発の成果が反映されている。

FCS-3を搭載した
護衛艦ひゅうが



第1分類（地上設置警戒管制センサー）

- 民生分野ではレーダーによる津波監視支援技術として実用化済みであるが、おおむね5年後に航空機及び艦船目標に対する表面波レーダー技術の獲得を目指している。
- 米国ではOTHレーダー（見通し外, Over The Horizon）が運用中であるとともに更なる高分解能化を進めているが、通常の地上レーダーと比べ設置には大規模な地積を必要とすることから、一部の運用にとどまっている。

第2分類（搭載型センサー）

- ステルス機及び弾道ミサイルへの対処技術をウェポン等と連携する研究を実施するとともに、水上用においては対空、対水上、対電子戦用レーダーとの連携により、システム全体として更なる小型化・低コスト化を図っている。
- 国内において、全周戦闘性や電子戦能力の向上が期待されるエレメントDBF技術をおおむね20年後には必要な技術的課題は解決する見込み。

第3分類（衛星搭載センサー／SSA）

- 国内外において衛星による取得画像の分解能は向上している。また小型衛星の普及により、小型・軽量・低消費電力化を実現した検知素子が開発されつつある。
- 地上からの宇宙空間の警戒監視は、静止軌道までを対象に高分解能画像取得を目指しつつ必要な高出力高効率モジュールの研究のための次世代素子に関する研究も進められており、おおむね10年後には必要な技術的課題は解決する見込み。

第1分類（地上設置警戒管制センサー）

第2分類（搭載型センサー）

- パッシブセンサーについては、近距離用、中距離用、射撃用等各種微光暗視装置及び赤外線装置が制式化され、装備化している。
- また、遠距離の赤外線撮像装置として、多画素化、高感度化、高温動作化等を目指してセンサーデバイスの研究開発を進めてきており、戦闘機搭載用IRST*等開発している。

* IRST: Infrared Search and Track



- アクティブセンサーについては、携帯型測距儀、90式戦車用測距儀等のレーザー測距装置が装備化されている。また、平成8～13年度の間、日米共同研究「アイセーフ・レーザレーダの研究」を実施し、多機能（測距、目標形状化、距離画像化、障害物警告回避等）レーザレーダに関する技術資料を得た。

アイセーフ・レーザレーダの研究



第3分類（衛星搭載センサー／SSA）

- 平成12～22年度の間、将来光波センサーシステム構成要素技術の研究試作及び所内試験を実施し、遠距離のミサイルの捜索、自動探知・追尾を行う光波センサーシステムに必要となる高分解能センサー技術、小型軽量化技術、画像信号処理技術、高精度標定技術等に関する技術的な知見を得た。
- 平成27年度から、宇宙空間での赤外線センサーの利用可能性についての技術的知見の蓄積を行うため、「衛星搭載型2波長赤外線センサ」の研究を実施



AIRBOSS: Advanced Infrared Ballistic-missile Observation Sensor System

✓ 第1～第3分類については、開発あるいは一部装備化の実績有り

第1分類（地上設置警戒管制センサー）

第2分類（搭載型センサー）

- 近距離のパッシブセンサーについては 微光暗視技術において米国では既に第3世代暗視管を用いた暗視装置が運用されており、平成26年度に第3世代の研究が終了した日本では、装備品等の構成部品を米国からの輸入に頼っている状況である。また米国では夜間操縦用ゴーグルについて、スポット状の強い光の入射による像にじみの発生を克服する研究が続けられており、突発的な明りにより暗視不能となっても直接肉眼で外観を見ることが可能な次世代微光暗視技術の研究も進められている。国内においても、おおむね15年後には必要な技術的課題は解決する見込み。
- 低出力レーザー光を用いたアクティブセンサーについては、国内においては、電線の離隔測定装置用として民生技術の中で実用化されているほか、欧州においてはアイセーフレーザーを用いてヘリパイロットに警告を行なう障害物警告システムを開発し既に導入済みである。また 高感度、低コスト及び小型・軽量化が進められているほか、高速繰り返しのレーザー光と狭視野・高角度分解能の受信光学系を空間的に走査して得られた3次元の画像情報から障害物を探知し、衝突・墜落の未然防止を図る装置としての研究開発がおおむね20年後には必要な技術的課題は解決する見込み。
- 高出力レーザー光を用いたアクティブセンサーについては、民生用においても、空港等の風速を計測するためのドップラーライダー技術が進んでいるほか、エアロゾル成分分析のためのレーザーレーダーの開発が進められている。高出力な光源を必要とするため、レーザー光源に関しては小型、高効率、高信頼の面から特に半導体レーザー・励起固体レーザーの開発がおおむね10年後には必要な技術的課題は解決する見込み。

第3分類（衛星搭載センサー／SSA）

- 小型衛星の普及により、小型・軽量・低消費電力化を実現した検知素子が開発されつつある。
- 衛星搭載型の高分解能かつ高感度な検知素子が開発されつつあり、おおむね15年後には必要な技術的課題は解決する見込み。
- 地上からの宇宙空間の警戒監視は、静止軌道までを対象に高分解画像取得を目指している。