



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

水中防衛の取組

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
水中防衛システムの課題	4
防衛省・自衛隊として獲得すべき技術	5
水中防衛システムに求められる先進技術	6
研究開発の取組の方向	7
取り組むべき主な技術課題	8
技術獲得の流れ	14
研究開発ロードマップ	15
将来コンセプト	16
おわりに	18

参考

水中防衛システムの構成要素	19
---------------	----

はじめに (p.3)

水中防衛システムの課題
(p.4)

防衛省・自衛隊として獲得
すべき技術 (p.5)

水中防衛システムに求めら
れる先進技術 (p.6)

研究開発の取組の方向 (p.7)

取り組むべき主な技術課題
(p.8-13)



研究開発
ビジョン
P13-14

技術獲得の
流れ (p.14)

研究開発
ロードマップ
(p.15)

おわりに
(p.18)

水中防衛の取組 ～無人機技術を活用した効率的な水中防衛の実現

意義と課題

水中防衛能力の飛躍的向上・効率化のため、多様な任務に対応する無人機の実現と水中防衛システムとして無人機・有人機が有機的に機能するための全般的な技術の実現が基本的課題

機能	現状	課題
警戒監視	● 広大な捜索対象海域、水中における監視対象の増加・活動の活発化 ● 水中警戒監視のために広域での膨大な海洋データの収集が必要 ● 収集データのリアルタイム共有が必要	● ソナー等の探知性能の向上及び広大な海域での無人機・有人機協調等による捜索の効率化 ● 多数の UAV による長期間での効率的な海洋データの収集の実現 ● 高速大容量長距離水中通信の実現
支援	● 水中防衛に関連するピークルの洋上等での無人機、補給等の手段が必要 ● 水中無人機が増加した場合、陸上からの効率的な指揮統制が必要	● 無人機等の自動投入・回収、補給、機動等の実現 ● 陸上司令部/有人機等からの無人機の活動の効率的指揮統制及び支援の実現
対処	● UAV 等の安価な移動水中目標に対する安価な対処手段が必要 ● 海上優勢を確保していない領域への隠密侵入等は高リスク	● 無人機等の移動目標にも対応可能な安価な対処手段の実現 ● 目標のセンサーの妨害や UAV のシグネチャ低減による低被探知性の向上
全般	● 完全無人での長期運用を実現するために、無人機状況認識、判断能力及び信頼性の向上が必要	● 長期間の無人運用を実現するための、状況認識及び行動判断の高度化による自律性の向上及び高信頼化

※水中には、水雷を含む。

防衛省・自衛隊として獲得すべき技術

警戒監視・支援・対処の課題について、能力向上のための要素技術、及び無人システムにより広域にわたり常時継続的に運用するための基盤となる自律化技術の獲得が必要であり、国内外研究開発機関の成果等の取込による継続的な技術向上及び最先端技術の反映を実施

警戒監視	支援	対処
探知技術 ・マルチスタティックソナー(多音源) ・ブロードバンド化 ・小型省電力化(センサー部及び信号処理部) 広域警戒監視技術 ・小型大容量エネルギー源 水中通信技術 ・水中音響通信(長距離) ・水中光通信(大容量)	自動運送技術 ・無人機自動発着機 ・無人機自動投入・回収 給電・補給・機動技術 ・高速水中給電 ・水陸両用無人機技術 指揮・管制技術 ・データベース自動構築 ・作戦計画支援 ・底層等を介した水中通信中継	警戒対処技術 ・スーパーキャパシタレーション弾 ・対魚雷魚雷 シグネチャ低減技術 ・音響メタマテリアル ・アクティブ雑音低減 センサー妨害技術 ・高出力妨害音 ・欺瞞用自警告シスポンダ
自律化 ● 状況認識技術 ● 目標自動検知・精識別 ● 異種センサー情報の融合	● 高信頼性技術 ● 異常予測・検知 ● 異常対応・機能継続	行動判断技術 ● 協調制御 ● 自己位置推定

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、長期行動 UAV 等の中核技術を確立。その後、水中通信技術等の警戒監視・支援・対処に必要な要素技術の向上及びモジュール化による早期の取込を通じ、無人機を活用した効率的な水中防衛を実現



技術獲得後の将来像

陸上司令部等からのモニタリングの下、UUV、USV、UAV 等多数の無人機が有機的に協調し、設定した識別範囲内における警戒監視、支援、対処等の水中防衛を自律的に遂行



将来コンセプト (p.16-17)

我が国を取り巻く安全保障環境

国際社会においては、国家間の相互依存関係が一層拡大・深化する一方、我が国周辺国の更なる国力の伸長等によるパワーバランスの変化が加速化・複雑化し、既存の秩序をめぐる不確実性が増している。こうした中、自らに有利な国際秩序・地域秩序の形成や影響力の拡大を目指した、政治・経済・軍事にわたる国家間の競争が顕在化している。

また我が国は海洋国家であり、法の支配、航行の自由等の基本的ルールに基づく、「開かれ安定した海洋」の秩序を強化し、海上交通及び航空交通の安全を確保することが、平和と繁栄の基礎である。

諸外国における水中における活動に関する認識・取組

近年、中国は海上戦力等による海空域における活動を質・量ともに急速に拡大させている。潜水艦も例外ではなく、中国海軍潜水艦の活動がインド洋で継続的に確認されており、また2018(平成30)年1月に、中国海軍潜水艦による尖閣諸島周辺の我が国の接続水域内航行を初めて確認した。中国海軍の潜水艦の増強は継続しており、潜水艦による水中での活動は今後も拡大・活発化する可能性がある。

米国は、中露の軍事力近代化や軍事技術の拡散を踏まえ、米国の軍事的な優位性を維持するための「第3のオフセット戦略」を進めているが、その中で特に強調されるのが人工知能と自律性である。水中の活動については、電波が届きにくく遠隔操作が難しいという観点から、自ら判断を行う自律型無人水中航走体が、米国の原子力潜水艦の減勢や潜在的敵対国の対潜水艦戦能力の向上による潜水艦の損害リスクの増大等の観点も踏まえて、新たな水中の戦力として期待が持たれている。

防衛省・自衛隊における水中における活動に関する研究開発の現状及び今後の方向性

海洋国家である我が国にとって「開かれ安定した海洋」の秩序を強化することは極めて重要であることから、海上交通の安全確保等に資する潜水艦、ソナー、魚雷・機雷等の水中における装備品の研究開発にこれまで積極的に取り組んでいる。また無人水中航走体については、古くから人が直接操作する有索の機雷掃討用航走体に取り組んできたが、少子化の傾向を踏まえた省人化、4D※任務対応や人員の危害予防の観点等から、昨今は事前の指定に基づいて自動的に動作する無索の自律型無人水中航走体の研究開発に取り組んできている。今後は人工知能等の技術を適用し、水中における活動のさらなる無人化及び高度な自律化の取組が必要である。

これらを踏まえた取組

※ 4D: Dirty, Dull Dangerous and Deep.

- ① 水中の安全確保・安定的な利用の確保は海洋国家である我が国にとって常に重要
- ② 中国の潜水艦の活動は活発化しており、我が国周辺の水中の警戒監視は今後も大きな課題
- ③ 少子化の進展による人員の確保の困難性、諸外国による水中無人機使用の進展の可能性等から、我が国においても水中における活動は、今後無人化・省人化等のより一層の効率化が必要

といった理由から防衛省・自衛隊における水中防衛システム、特に海洋無人機等の自律システムを中心とした運用能力の獲得を技術的視点からリードすべく、優れたデュアルユース技術を積極的に導入する。既存装備品との接続確保を含む防衛省・自衛隊として取り組むべき技術的課題を特定し、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。

水中防衛システムの実現に向けた課題

人工知能や量子関連技術等、先進研究分野への大規模な投資を背景に、無人機開発や潜水艦活動の拡大に取り組む周辺国の動向に対し、我が国が直面する人口減少の見通しを踏まえ実効的に対応するため、水中防衛能力の飛躍的向上を無人システムにより実現するための技術革新を本ビジョンの基本的課題と位置付けた。

水中警戒監視に関する課題

- 広大な海域に存在する水中の目標に有限のアセットで効率的に対処するための、**有人艦の省人化・省力化**
- ソナー等の探知性能等向上及び各種センサーを搭載した**複数の水中無人機（UUV：Unmanned Underwater Vehicle）**による協調搜索、**有人艦との協調による警戒監視の効率化**
- 水中における音波の伝搬状況の予測に必要な、水温、塩分濃度、海流、水深、底質、沈殿物の有無等の**膨大な海洋データを、多数のUUVにより効率的に収集**並びに、得られた情報を陸上、水上、水中のアセットとリアルタイムで共有するための、高速大容量**長距離水中通信**の実現
- 無人機による、港湾・基地等施設、停泊艦艇、水中インフラ等、我が国にとって重要な**資産の常時監視**の実現

水中支援に関する課題

- 陸上司令部／有人艦等による無人機の活動の効率的指揮統制及び支援の実現
- 無人機等の自動投入・揚収、補給、給電、機動等の実現
- 潜水艦、UUV等の水中で隠密活動するビークルへの、無人機による**物資・エネルギー補給**
- 大規模自然災害時にも活用しうる、水中インフラ・機器等の搬送・敷設・点検・修理といった作業の無人機による**効率的実施**

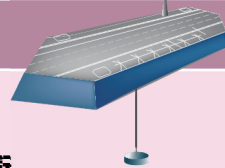
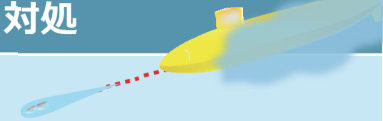
水中対処に関する課題

- 有人アセットの防護や港湾・航路の啓開を目的とした無人機による**機雷等水中障害の搜索・処分**
- **高い自律性と信頼性を有する長期間運用可能なUUV**による、海上優勢を確保していない領域への隠密侵入、水中機器の敷設、人間の適切な関与の下での魚雷・ミサイルの発射、偵察用や電子戦用の航空無人機（UAV：Unmanned Aerial Vehicle）の投射、水中インフラの排除等

※ 水中には、水際を含む。

警戒監視・支援・対処の課題について、能力向上のための**要素技術**、および無人システムにより広域にわたり常時継続的に運用するための基盤となる**自律化技術**の獲得が必要であり、国内研究開発機関の成果等の取込による継続的な技術向上及び最先端技術の反映を実施

課題解決に寄与する要素技術

警戒監視	支援	対処
 探知技術 ● マルチスタティックソナー（多音源） ● ブロードバンド化 ● 小型省電力化（センサー部及び信号処理部）	 自動接続技術 ● 無人機自動発着艦 ● 無人機自動投入・揚収 ● 物資自動補給	 脅威対処技術 ● スーパーキャビテーション弾 ● 対魚雷魚雷
広域警戒監視技術 ● 海洋環境の3次元自動多点計測 ● 小型大容量エネルギー源	給電・補給・機動技術 ● 高速水中給電 ● 水陸両用無人機技術	シグネチャ低減技術 ● 音響メタマテリアル ● アクティブ雑音低減
水中通信技術 ● 水中音響通信（長距離） ● 水中光通信（大容量）	指揮・管制技術 ● モニタリング ● データベース自動構築 ● 作戦計画支援 ● 衛星等を介した水中通信中継	センサー妨害技術 ● 高出力妨害音 ● 欺瞞用音響信号レスポнда ● レーザー妨害装置

基盤となる無人機の自律化技術

自律化

状況認識技術

- 目標自動検知・類識別
- 異種センサー情報の融合



高信頼性技術

- 異常の予測・検知、自己診断
- 異常対応・機能継続

行動判断技術

- アボイダンス
- 協調制御
- 自己位置推定

水中防衛システムの技術的進展

- 我が国の広大な領海および排他的経済水域を効果的かつ効率的に守る水中防衛システムを実現するために、警戒監視、支援、対処の各様相における任務能力の向上とともに、これらを広域にわたり常時継続的に実施するための高度に自律化した無人機の活用が重要である。
- 警戒監視に関しては、ソーナーのブロードバンド化やマルチスタティック化の研究開発が活発に行われており、その成果は現有装備品にも取り入れられている。音響やレーザーを用いた水中通信技術についても国内外で研究が行われているが、本格的な実用化には乗り越えるべき壁がある。広域にわたり常時継続的な警戒監視に不可欠な小型大容量電池技術については、民生分野における発展がめざましい。
- 支援に関しては、水中給電技術が民生分野において取り組まれている。諸外国においては、無人機を艦船から発着させる技術開発が積極的に行われており、一部実運用段階にある。
- 対処に関しては、攻撃、被探知防止、妨害といった局面における能力向上のために、防衛分野における継続的な研究開発が行われている。
- 自律化に関しては、陸上や空中において自動運転自動車や人工衛星等様々な分野で広く活用されている一方で、水中においては通信やセンサーの利用が制限されるため、より高い自律性が求められている。

今後の進展の方向性

警戒監視

- 水測予察の精度向上を図る一方、音響に依存しない検知方法の研究も必要となる。また、各種センサーや情報処理装置について、無人機に搭載することを踏まえ、性能向上と小型化・省電力化を両立させる必要がある。無人機の果たす役割の拡大に応じて、水中通信の長距離化、高速化も重要性を増していく。多数の無人機やセンサーが広域にわたり常時継続的に任務を果たすために、小型大容量エネルギー源技術が不可欠である。

支援

- 無人機を発着、整備、管制する母艦、水中-陸上間の輸送等を遂行する水陸両用無人機、広域に展開した多数の無人機の作戦計画、無人機が収集したデータ分析およびそれらに基づく海況予報といったような防衛分野に特有の技術については、防衛省・自衛隊において研究を進める必要がある。

対処

- 無人機が有人艦と協調して任務を遂行することが求められる。また、ゼロカジュアリティー実現の観点から高脅威下での運用が期待される無人機の隠密性を向上させる先進技術の研究も必要である。これらの技術は、有人艦への適用も可能である。

自律化

- 通信が制限される水中や高脅威下で運用するために、必要時以外では外部からの直接的な指揮管制に依存しない高度に自律したシステムの構築が必要である。また、広い海域の防衛を効果的に行うため、多数かつ多機種が混在した無人機群の統合的な運用が必要とされる。加えて、人間の直接的な介入なしに長期間運用するために、システムの信頼性を高める技術が必要である。

研究開発環境の構築

- 現在、**水上無人機（無人船舶）の運用を規定する法律については**、国内ガイドラインは整備されているものの、詳細については個別調整となっている。今後、多数の無人機を安全に運用するためには、**関係機関と協力して、法整備等適切な環境整備**にも対応する必要がある。
- 技術の実証は、比較的小型のアセットについては、実機ないしカスタマイズした実機に新技術を組み込み、早期に実環境で性能確認することが望ましい。大型のアセットに対しては、①段階的に中間目標を立てて試作し、能力向上を図ること、②海上で発生する可能性のある故障や厳しい環境等に伴う事態に、**アセットが適切に対応することを事前に十分に確認**するなど、リスクを低減しながら技術実証を実施していくことが必要である。

水中防衛システムに求められる先進技術の達成目標

警戒監視

- マルチスタティック化・ブロードバンド化等のソーナーの性能向上、およびこれを無人機に搭載するための小型省電力化
- 多数の無人機や固定センサー等を広域にわたり常時継続的に運用するための小型大容量エネルギー源
- 広範囲かつ深深度に渡って水中の温度等を計測又は計算し、更に海底地形及び底質を加味することによる、水測予察精度の向上
- 化学成分や磁気等、音響に依存しない水中脅威の探知技術の確立
- 有人艦、無人機、固定センサー等各種アセットの協調運用を可能とする、長距離・大容量・高対傍受性・高対破壊性を追求した水中通信の確立

支援

- 自動発着、投入・揚収、物資の自動補給等により、海上において必要時のほか、人間の介入を要しない多数の無人機群の協調の実現
- 水中給電設備によるUUV等水中アセットの活動時間の延長、水陸両用無人機による水中-陸上間の輸送
- 陸上司令部等からのモニタリング、データベース自動構築、高精度な海況予報に基づく作戦計画支援による、互いに協調するUUVや分散自律型センサーを用いた水中常時監視システムの構築

対処

- 相手国が無人機を大規模に使用することを想定し、センサー妨害技術による有人・無人脅威の無力化
- 音の反射を制御する音響メタマテリアル技術等によるステルス性の向上
- 自艦雑音に対し、艦体に配した音源・アクチュエーターから逆位相の音・振動を発して相殺し静粛化するアクティブ雑音低減
- スーパーキャビテーション弾等の安価な方法による機雷等の水中脅威への対処

自律化

- 陸上司令部等からの管制に依存しない自律的な任務の遂行（状況認識技術、行動判断技術）
- 自艦の異常の発生予測、発生後の検知、縮退運転等による機能継続（高信頼性技術）

自律化

赤： 主として防衛省・自衛隊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

主要構成技術		技術の概要	技術的課題	期待できる効果
状況認識	異種センサー情報の融合	光学センサーや音響センサー等、異種センサーの情報を融合して目標状況や環境状況を認識	検知した物体の整合、時刻の同期	人間による直接的な管制が限定される、あるいは全くない中で、無人機が自律的に任務を遂行
	水中目標自動検知・類識別	水中航走体や機雷等の海中・海底目標の探知類別を自動化	脅威となる艦艇、無人機、水中機器等の形状や行動の学習、画像解析アルゴリズム	
	水上目標自動検知・類識別	取得した可視画像等から、自動で艦種等を類識別し、不審艦艇を抽出		
高信頼性	異常予測・異常検知・自己診断技術	自機内部の状況を監視し、異常、故障等を予測・検知・特定する技術、異常対応のための機能残存レベルを判断	システムの設計・構築、試験による検証・実証	無人機のトラブルの発生を防止し、トラブルが発生した際には自律的に対処することで、人間が直接的に介入せずとも長期間の任務を遂行
	異常対応・機能継続技術	異常時に任務継続や自身を存続させるための、冗長系、縮退機能、行動の選択	判断の自律化	
	搭載機器の信頼性向上	慣性航法装置、電源装置等の信頼性管理品目のMTBF※向上	比較的短いMTBFの搭載機器の冗長化	
行動判断（航海）	自機航路設定	指定された進出海域までの航路を設定し、任務変更の場合は、新たに航路を設定	通信依存を局限したリルート機能の確立	人間による直接的な管制が限定される、あるいは全くない中で、無人機が自律的に任務を遂行
	アボイダンス	水上、水中で船舶、浮遊物、海底地形を回避	漁網等の小型水中目標の高精度な検出、検出のロバスト性の向上、人間との操船の一致	
	荒天下自律操船	様々な天候や海況等に適応して自律的に操船	環境に適応した操船アルゴリズム	
	自己位置推定	自機の絶対的な位置および目標との相対位置の推定、計測した値と真値との補正	量子慣性センサーによる高精度自己位置推定の実現	
	行動評価（航海）	進出・帰投等の任務外における自身の行動とその結果から、その行動が適切であったかを評価	開発で対応可能	
行動判断（任務）	姿勢制御	UUV航行のために機体の姿勢を調整	重量バランス制御アルゴリズムと機構の開発（開発段階で対応可能）	
	行動評価（任務）	自身の行動とその結果から、その行動が適切であったかを評価	行動結果の観測	
	意思決定	自身の状態と周辺状況を総合的に判断し、次に自身が取る行動を決定	発生確率が低く、想定や学習や困難な事象への対応	
	協調制御	UUV・USV※・有人機の協調制御	多様なアセット間で協調して任務を遂行するための行動アルゴリズム、通信規格の整備	

※ MTBF: Mean Time Between Failure

※ USV: Unmanned Future Vehicle

取り組むべき主な技術課題（2／6）

9

警戒監視①

赤： 主として防衛省・自衛隊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

主要構成技術			技術の概要		技術的課題		期待できる効果	
探知	音響探知	ISR／ASW※ 用ソーナー	マルチスタティック ソーナー（多音源）	複数の無人機による、複数の送波信号及び受波信号を用いたソーナー	データ処理量の増加、自動検出、残響予測、僚機位置把握・同期	静粛な目標の音響探知		
			ブロードバンド化技術	単結晶素子等を用いたソーナーのブロードバンド化	単結晶素子の製造、低コスト化			
			小型省電力化	無人機に搭載可能な小型で省電力のソーナー	波長や探知距離とのトレードオフの解決	各種大きさのUUVでソーナーを運用		
			えい航式／海底敷設アレイ用機構	えい航式／海底敷設アレイの展長巻取り機構とその自動化	アレイ展長／巻取り機構及び制御部の実現			
			アレイ敷設技術	アレイ海底敷設に必要な航走体の運用／制御	敷設地点のマルチビーム等による調査、敷設の計画（海底へのアプローチ）、敷設のためのアレイ展長／機体制御			
			ソーナー自動化技術	ソーナーにおける検出、追尾、類識別等の機能を人間の操作なしに働かせる	水測員の操作及び目標認識をプログラムに組み込むこと			
			航走体運用技術	目標の位置、針路、速力の推定等のための航走体自動制御	目標運動解析（TMA※）のための自機の運動制御			
		MCM※用ソーナー	リアルタイム信号処理	無人機内部での合成開口処理	開発段階で対応可能	無人機による機雷探知用合成開口ソーナーの運用		
			解析支援	合成開口ソーナー画像等の探知画像の解析支援	統合表示方式	合成開口ソーナー運用の省力化		
	非音響探知	水上センサー	SIGINT※自動情報収集能力	自動、遠隔操作で電波等の情報を収集	有人の艦船、航空機、地上施設等との協調、無人機内部でのデータ解析	無人機による電子戦の遂行		
		その他	化学成分による目標探知技術	海水に含まれる化学物質から目標を検出する	目標が出す化学物質の計測・同定	静粛な目標の探知		
		航空用電磁界探知技術	電磁界バイセンサー搭載技術	搭載スペース、電力等制約があるブイへの電磁界センサーの搭載	電磁界センサーの非磁性化、小型化、高感度化、省電力化及びブイへの電磁界センサーの配置最適化	電磁界ブイによる水中目標の探知		
			電磁界雑音補償技術	電磁界ブイに発生する動揺雑音、地磁気雑音等の低減	実海面における電磁界ブイの各種電磁界雑音補償			
			目標信号抽出技術	電磁界ブイによる水中目標の電磁界信号の検出	実海面における電磁界ブイによる目標信号抽出			

※ ISR: Intelligence, Surveillance and Reconnaissance ASW: Anti-Submarine Warfare MCM: Mine Countermeasures TMA: Target Motion Analysis SIGINT: SIGnal INTelligence

警戒監視②

赤： 主として防衛省・自衛隊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

主要構成技術			技術の概要	技術的課題	期待できる効果
広域警戒 監視	海洋環境の3次元自動多点計測		UUVを用いた海水温等の環境計測	深深度まで計測可能な計測システム、低コスト化	海況予報、水測予察の精度向上
	小型大容量 エネルギー 源	リチウムイオン電池技術	動力やセンサーのエネルギー源であるリチウムイオン電池	エネルギー密度、安全性の向上	エネルギー源の大容量化による 無人機や分散自律型センサーの 活動の長期間化
		燃料電池	動力やセンサーのエネルギー源である燃料電池	液化ガスの長期貯蔵による貯蔵能力の向上、水素吸蔵合金	
		スノーケル	UUVに内燃機関を適用	自動化、無人化	
	エネルギー マネジメン ト	電力需要への対応 燃費向上	コンポーネントに対する電力の最適配分	エネルギー需要予測モデルの確立	エネルギー消費の効率化による 無人機や分散自律型センサーの 活動の長期間化
		待機	沈座・アンカリング・ハイバネーション	沈座可能位置の把握	
水中通信	水中音響通 信	多重化	複数ノードと同時に通信する技術	通信距離、伝搬状況等を計測し、適切なパラメータを選択する	水中アセットによる水中目標 データ等の共有、水中・水上ア セットの協調
		ドップラー対策	移動するノード同士が通信	ドップラーシフトの大きい信号に対して同期する	
		変調方式	データ量やSN比等の運用条件に応じて適した変調方式を選択	通信距離、伝搬状況等を計測し、適切な変調方式を選択する	
		ロバスト性	周波数拡散、ネットワーク化によるロバストな水中音響通信	電波通信技術の水中への適用	
	水中光通信		光波を用いた近距離の大容量通信	量子もつれ配信、復号、ロバスト性の向上	

支援①

赤： 主として防衛省・自衛隊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

主要構成技術		技術の概要	技術的課題	期待できる効果
自動連接	無人機自動投入・揚収	母艦に搭載したUUV・USVを無人で投入、揚収、管理	投入発着艦技術、近傍無人機の管制技術、高速展開技術	母艦による補給を含めた水中防衛システム全体を無人化し、常統性・広域性を向上
	無人機自動発着艦	母艦に搭載したUAVを無人で発艦、着艦、管理	自動発着艦技術、指揮統制技術	
	物資自動補給	有人艦又は無人機に対して、陸上、有人艦又は無人機から補給物資を移送	艦船の位置制御、補給設備の自動化、艦内の物資移動の自動化	
給電・補給・機動	高速水中給電	水中においてエネルギー補給	大電力化	母艦からエネルギー補給を受けることによる、無人機や分散自律型センサーの活動の長期間化
	水陸両用無人機 水中・水際機動性	周辺環境認識に基づき、波浪等の外乱を考慮した姿勢・走行制御	環境に応じた駆動制御、走破性（軟弱地・礁池・礁嶺）、駆動システムの複合化	水中、汀線部および陸上におけるシームレスな活動
指揮・管制	作戦計画支援	陸上におけるUMS※の行動計画の立案	行動計画立案のためのシミュレーションの精緻化	多数の無人機による効果的な警戒監視
	モニタリング	任務中の無人機のモニタリング及び管制	モニタリングのための通信技術	
	データベース自動構築	多数の無人機による海洋情報や目標情報からデータベースを構築	多種センサーによる多種のデータの効率的かつ利用可能な形式での整理（データ容量、処理時間等）	膨大なデータを通じた、海況予報、水測予察、目標類識別等の精度向上
	高精度海況予報、水測予察	海況（海流、海温、塩分濃度等）の予測と、それに基づく音波伝搬経路の予測	無人機による収集データの利用、精度向上	正確な予察に基づく効率的な音響搜索計画の立案、ノイズ除去
	有人艦協調CDS※	有人艦と協調してASWを実施するため、無人機を指揮統制する	有人艦-無人機の最適配置アルゴリズムの開発	複数の無人機や有人機が互いに協調し、全体として防衛能力を向上
	衛星等を介した水中通信中継	通信衛星、UAV等を用いた水中通信中継	アンテナの小型化、操作無人化、接続性向上（アンテナの姿勢制御）、通信コストの低減	洋上に展開する無人機から他の無人機や陸上司令部との通信（データ共有、指揮管制、協調）

※ UMS: Unmanned System CDS: Combat Direction System

支援②

赤： 主として防衛省・自衛隊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技術
灰色： 他機関との共同研究等により獲得する技術
水色： 民生分野における進展を待つ技術

主要構成技術		技術の概要	技術的課題	期待できる効果
トータルシステム	コンセプト評価技術	運用シミュレーションによるUUVコンセプトの評価	シミュレーションの妥当性評価	UUVの設計の最適化
	OA※化	規格化	規格の整備	低コスト化、汎用性・拡張性の確保
	COTS※品の使用	民生品の活用	なし	
	モジュール化	搭載機器のモジュール化	サイズ・重量の最適化	
情報保護	サイバー攻撃対処	電子戦による無人機の等の対策	基盤となる技術は民生分野とも共通するものであるが、技術進展や無人機の運用に応じた脅威分析に応じた対応が必要であり、装備品特有の目標設定必要	水中防衛システムの安定的な運用と情報保全
	ろ獲時情報保護	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	

※ OA: Open Architecture COTS: Commercial Off the Shelf

対処

赤： 主として防衛省・自衛隊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

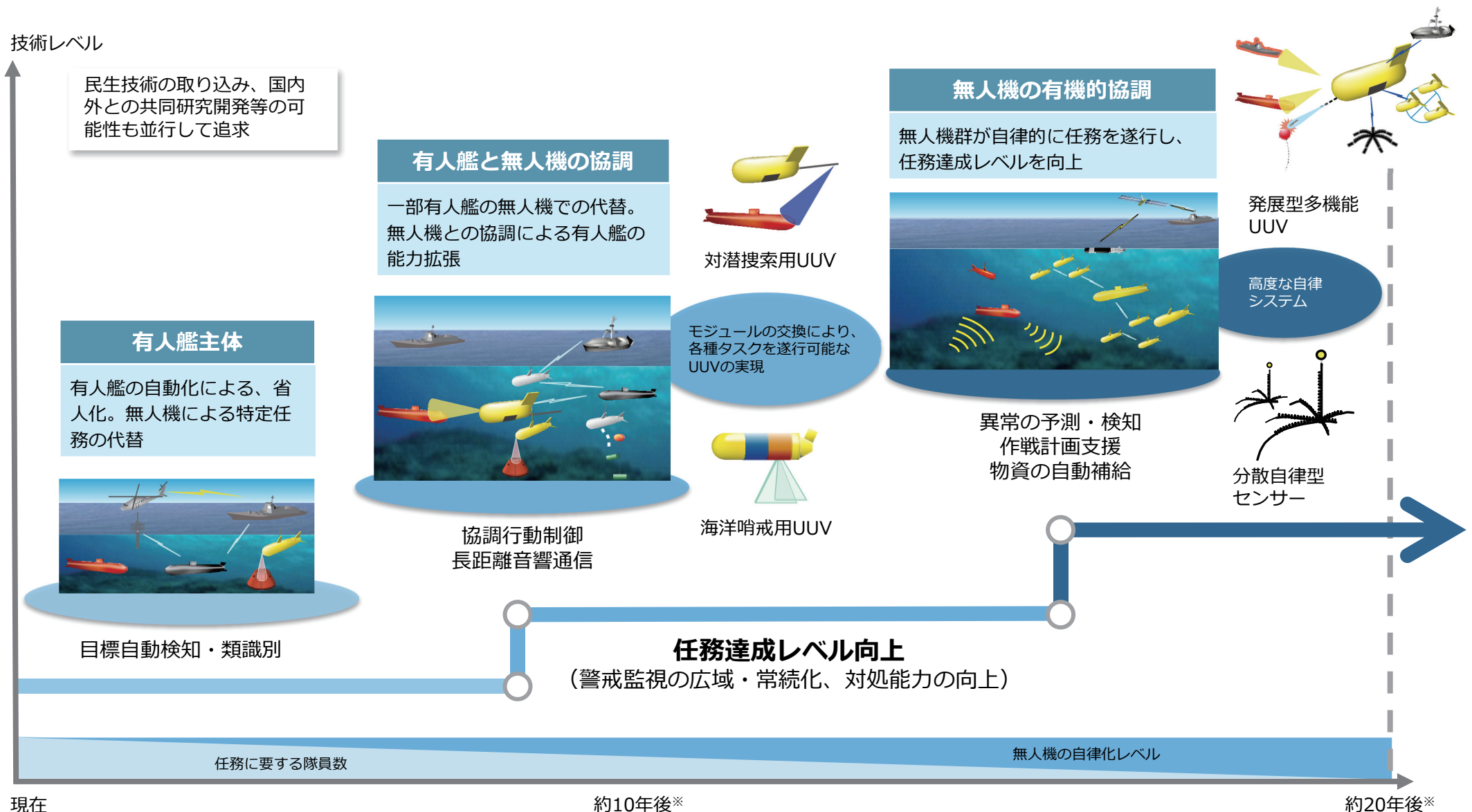
青： 他の装備品の成果を活用できる技術

水色： 民生分野における進展を待つ技術

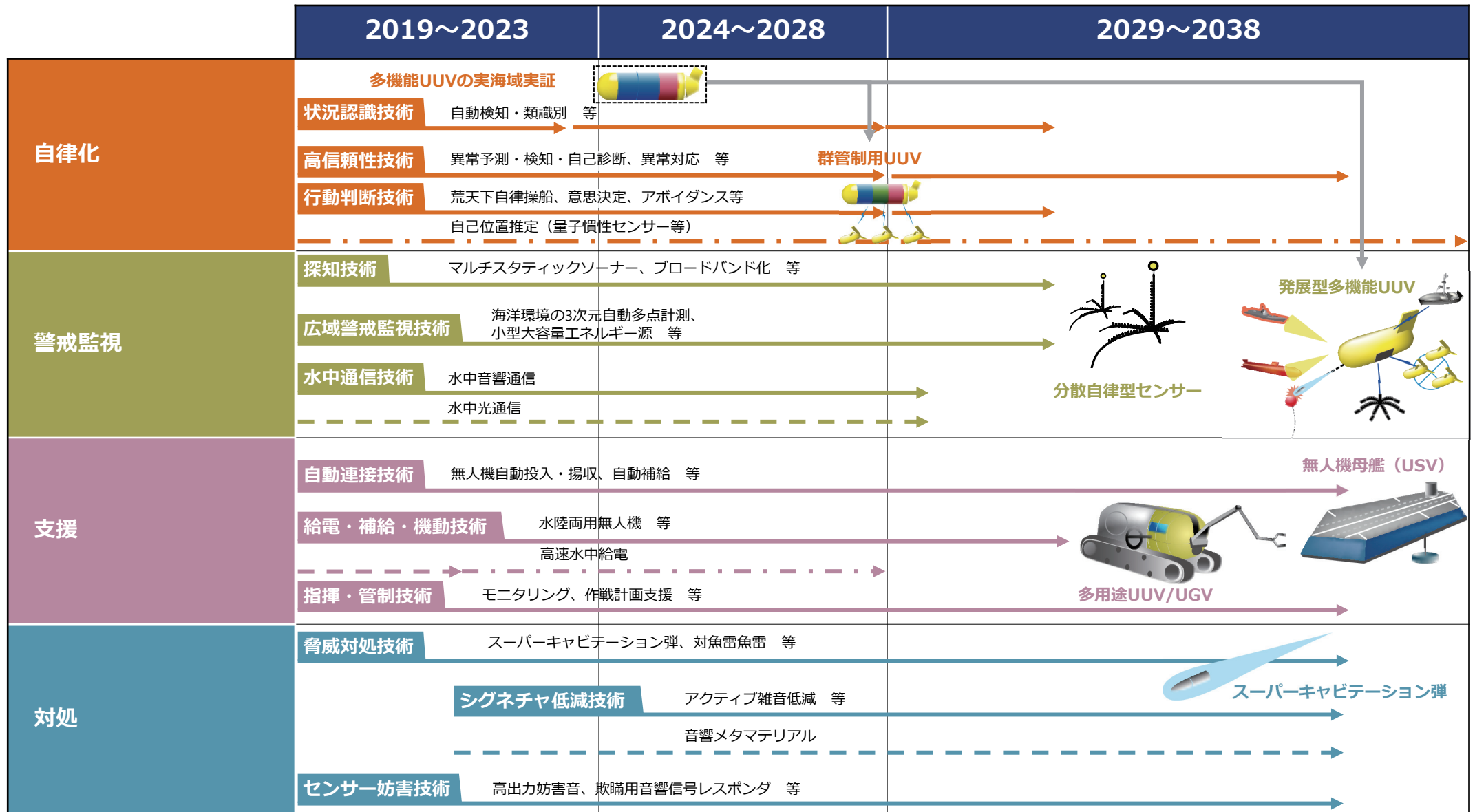
主要構成技術		技術の概要	技術的課題	期待できる効果
脅威対処	スーパーキャビテーション弾	キャビテーションを利用して水の抵抗を大幅に低減させる弾丸	キャビテーションの発生と維持、無人機によるターゲティングと発射	目標対処の低コスト化
	対魚雷魚雷	脅威魚雷を破壊する魚雷	脅威魚雷の探知、誘導	魚雷に対するハードキル
	水中機器搬送敷設	搭載能力	無人機のサイズや動力の制限の下で、十分な数量の水中機器を搭載し、運搬する	無人機による水中機器（機雷、センサー等）の運用
		敷設能力	水中機器を所望の位置に敷設する能力	
シグネチャ低減	静粛化	音響パッシブ被探知防止	開発段階で対応可能	音響による被探知可能性の低減
	TS※低減	音響アクティブ被探知防止	開発段階で対応可能	
	音響メタマテリアル	音響メタマテリアルを用いて探信音を透過させることでTSを低減する	対応周波数の広帯域化、設計自由度の向上	
	アクティブ雑音低減	自己雑音と逆位相の音波を送信することで自己雑音を相殺する	装置の小型化	
	低UEP※	UEP被探知防止	異種金属配置の最適化による低減 カウンター電流による低減	水中電界による被探知可能性の低減
	低磁性	磁気被探知防止	磁性体管理による低減 消磁コイルによる低減	磁気による被探知可能性の低減
センサー妨害	高出力妨害音	大音量を発生させて目標ソーナーを無力化する	高出力送波器	脅威のアクティブソーナーの無力化又は欺瞞による搜索効率の低下
	欺瞞用音響信号レスポнда	反射音を増幅して送信することで無人機を有人艦と誤認させる	脅威が使用する帯域への対応	
	塗料散布	水中で使用されるブルーグリーン光波を妨害するための塗料を散布する	環境配慮型塗料	脅威のレーザー通信やレーザーによるセンシングを妨害
	欺瞞能力	電波、音響の欺瞞信号を発生し、無人機を他の有人艦と欺瞞	無人機への欺瞞装置の搭載、脅威への対処アルゴリズム	無人機による有人艦の護衛
	フライホイール	電力を運動エネルギーに変換して貯蔵	フライホイール製造技術、慣性制御	短時間に大電力を発生することにより、アクティブソーナーや欺瞞信号等の発信

※ TS: Target Strength UEP: Underwater Electric Potential

短期的に有人艦と無人機の協調を実現し、中長期的に**無人機の有機的協調**を確立

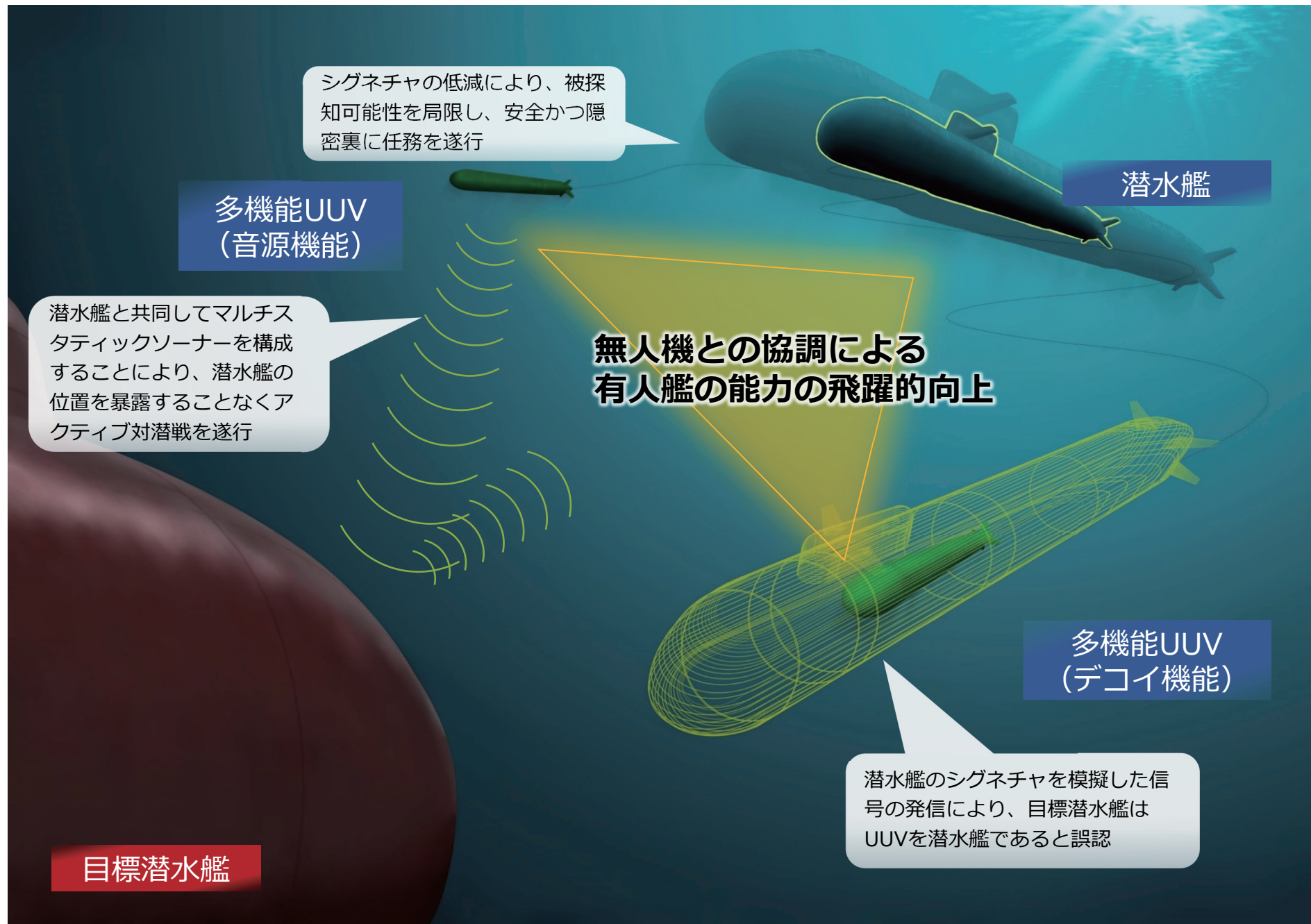


※ 年は一例に過ぎず、迅速な研究開発の考え方に鑑み、技術の早期獲得に努める。

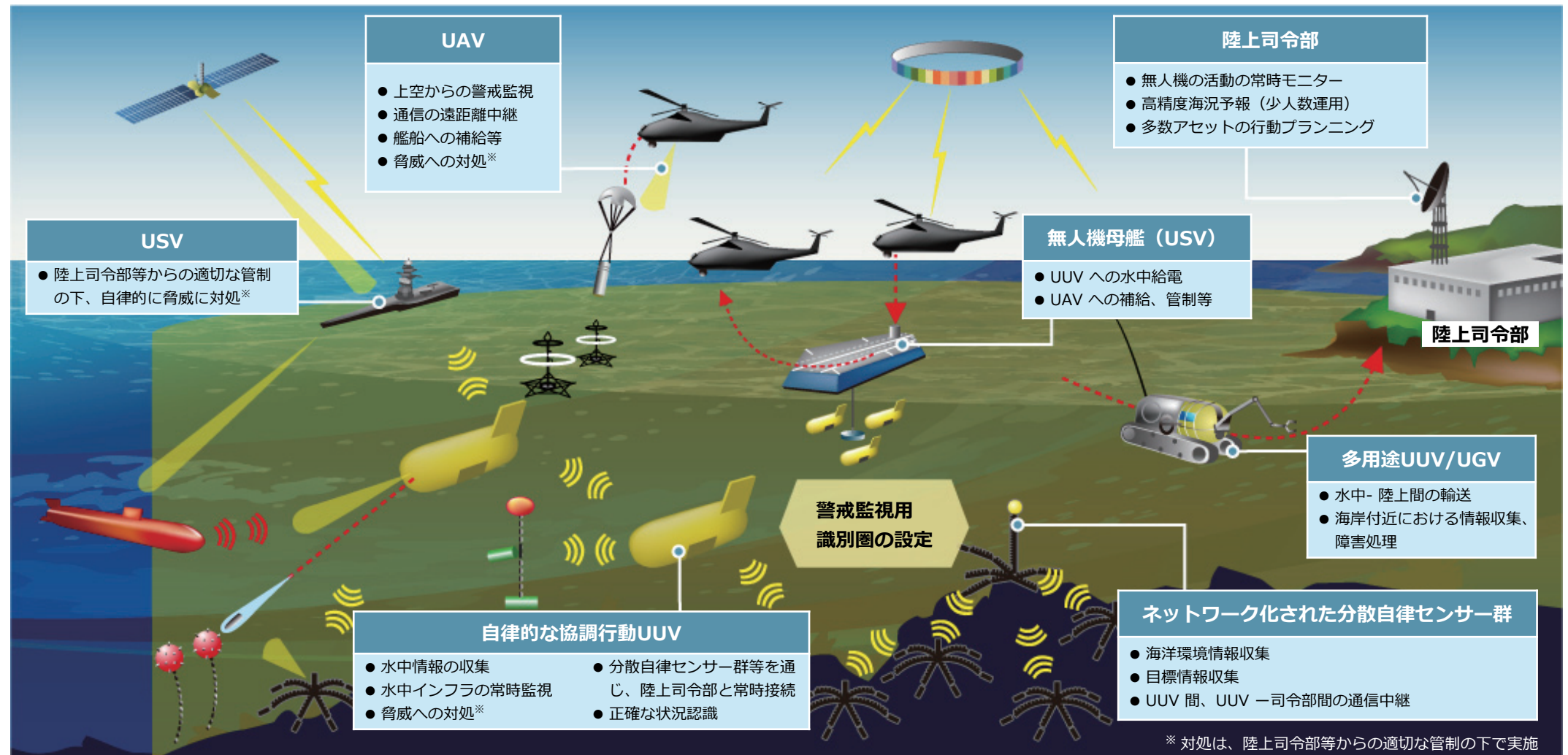


- 主として研究開発により獲得
- 共同研究等により獲得
- . - 最新民生技術の取込により獲得

- 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。



陸上司令部等からのモニタリングの下、UUV, USV, UAV等多数の無人機が有機的に協調し、設定した識別圏内における警戒監視、支援、対処等の水中防衛を自律的に遂行



主な研究開発の進め方

- 海洋無人機を含む無人機に関係する技術及び運用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。
- 海洋無人機に必要な技術は膨大であり、全てを防衛省・自衛隊自身の取組により獲得することは、経費面及び実現期間の観点で現実的ではない。海洋無人機に関する研究開発は民間でも進んでおり、特に水中通信技術、複数多機種協調技術、群制御等は**民間における成果を共同研究等を通じて取り込み**、効率的な技術の獲得に努める。
- 研究開発の実施に当たっては、**海洋環境試験評価施設等を活用し、試作・開発した海洋無人機の技術実証を適切に実施し**、より実際に近い環境で装備品の効果を正確にかつ安価に把握することにより、優れた装備品の迅速かつ効率的な開発に努める。

海洋に関する国内外の動向を注視

- 我が国は海洋基本法に基づき定められる海洋基本計画に従い、海洋に関する様々な施策を推進している。防衛省においても、**海洋基本計画に基づく各種施策を推進**するとともに、水中における活動を含む海洋の安全保障に関して、関係省庁・政府関係機関と適宜連携・協力していく。
- 海洋状況把握（MDA: Maritime Domain Awareness）は、米国・欧州で取組が進められるとともに、我が国も平成28年7月に総合海洋政策本部がその能力強化に向けた取組の方針を示し、取組を強化している。**諸外国のMDAに関する取組が**、海洋無人機の水中・水上における活動に影響を与える可能性があることから、その取組を**今後注視**していく必要がある。

無人機の取り扱い等に関する国際的な取組に応じた対応

- 水中は電波が伝搬しにくく、遠隔の有人司令部との間での連続的な通信が困難なことから、水中無人機は、航空又は陸上無人機と比べて人間による直接的な管制を受けられることなく、無人機自身で自律的に判断して行動を決定する必要性が高い。現在、自律型致死兵器システム（LAWS※）に関する国際的な議論があり、今後自律機能を有する兵器の運用面、制度面等での検討が行われていく可能性がある。防衛省・自衛隊としては、国際社会で共有認識が得られるよう積極的に議論に参加しつつ、**効果的な水中無人機の実現に必要な自律性に関する技術の研究開発に積極的に取り組んでいく**。
- 海洋無人機の取り扱い（船舶、軍艦等）に関する国際的な認識の統一は得られていない。海洋無人機を使用していくにあたり、今後進む可能性がある**海洋無人機の取り扱いに関する国内、国際法の整備の動向を注視**していく必要がある。

※ LAWS: Lethal Autonomous Weapon System



参 考

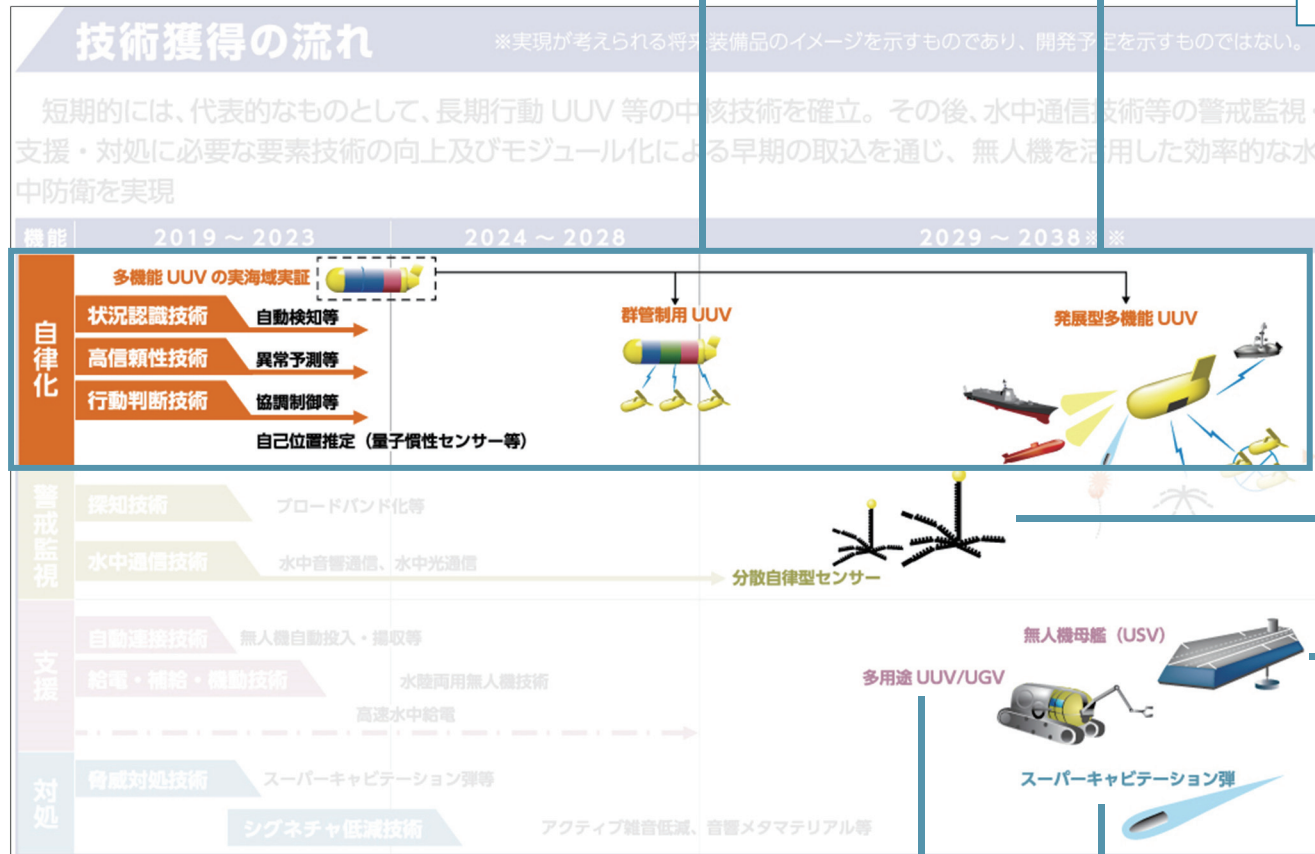
水中防衛システムにおいて
取り組むべき主な技術課題

水中防衛システムの構成要素

－UUV, 回転翼UAV (p.21-23)



研究開発ビジョン
P14



水中防衛システムの構成要素
－多用途UUV/UGV (p.26)

多用途型UUV

潜水艦等の監視や水中機器の敷設、海洋情報の収集等の多様な任務を実行可能なUUV。

モジュール構造により任務に応じてセンサーやエネルギー源の換装が可能であるとともに、高い自律性により適用可能な任務が拡大される。

主要機能

共通機能

- 水中通信（有人機・無人機・海底センサー等）
- 水上通信（荒天下での安定した通信手段）
- 高精度航法
- 障害物回避（水中・水上）
- 異常予測・検知/異常対応
- 低音響シグネチャ
- 水中給電

多様な任務への対応

- 水中監視
- 水上監視
- 海洋観測
- 音響欺瞞 等

主要性能

自律性

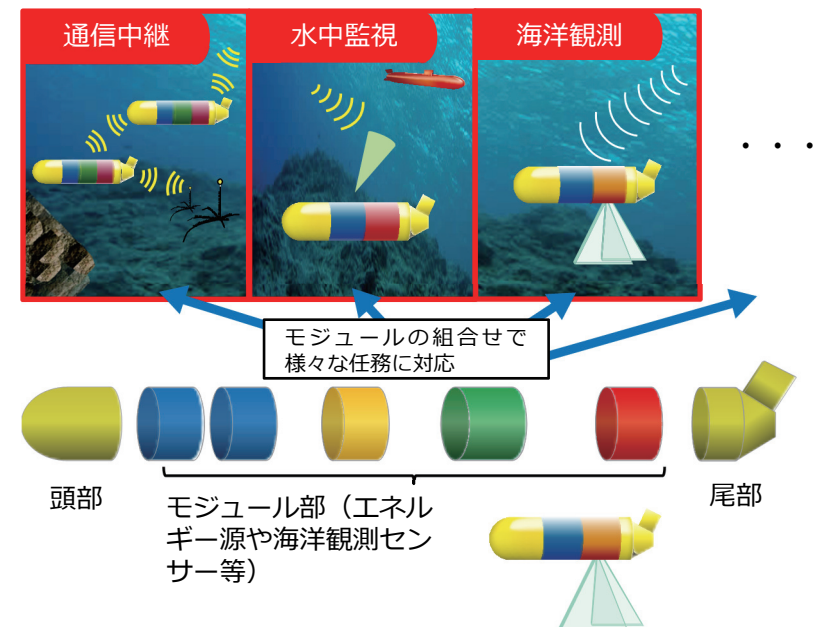
- 目 標：人間の直接的な介入なしに、長期間任務を継続可能な自律能力
技術課題：異常予測・検知技術、高度信頼性技術、行動判断技術

航続時間

- 目 標：数ヶ月
技術課題：静粛性・安全性が考慮されたエネルギー密度の高い動力源、搭載機器の消費電力低減

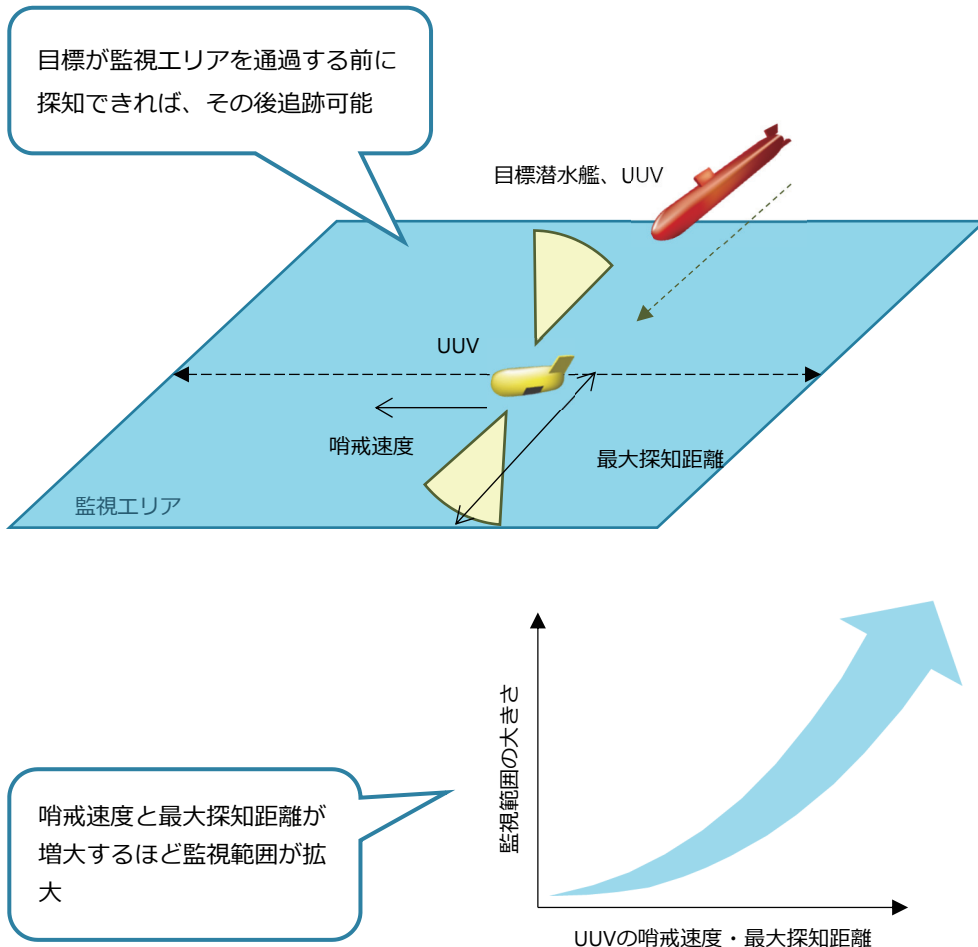
探知性能

- 目 標：数km～十数km程度の遠距離探知能力
技術課題：低自己雑音、信号処理技術の進展、予察精度の向上、自動探知類別能力の向上



UUVの水中警戒監視能力の向上

自動探知・類別能力の向上を含めた探知性能の向上、哨戒速度の高速化と長期間の航走を可能とする動力源の実現により、1機当たりの監視範囲を拡大する。さらに有人艦や他の無人アセットとの協調により、効率的な水中警戒監視を実現する。



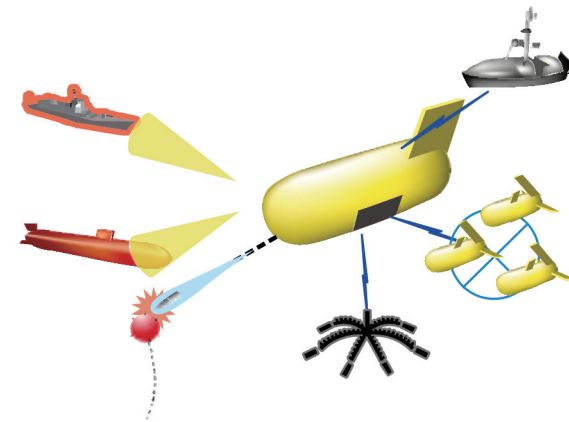
発展型多機能UUV

多数の無人機が協調し、脅威となる潜水艦、UUVや水中機器等の排除を行う任務を実行する。

安価な脅威の登場が今後予想されることから、安価な対処手段や、高脅威下で活動するための被探知防止技術が重要となる。

適用可能技術（例）

- スーパーキャビテーション弾：キャビテーションを利用して水の抵抗を低減させる弾丸
- 音響メタマテリアル：船体表面に用いて、相手の探信音を透過させる
- アクティブ雑音低減：自己雑音と逆位相の音や振動を発生させ、自己雑音を相殺する



回転翼哨戒UAV

潜水艦やUUV等の水中脅威を探知・対処する。また、通信の中継や海面監視、物資輸送といった支援任務も遂行する。このUAVは無人機母艦からの補給を受けることによって、広い海域を長期間にわたって監視する。

[固定翼UAVとの比較]

- ①吊下型ソーナーが使用可能
- ②垂直離着陸能力により母艦への発着艦が容易
- ③一般的な固定翼UAVと比べての燃費の悪さは、母艦との協調により軽減可能

主要機能

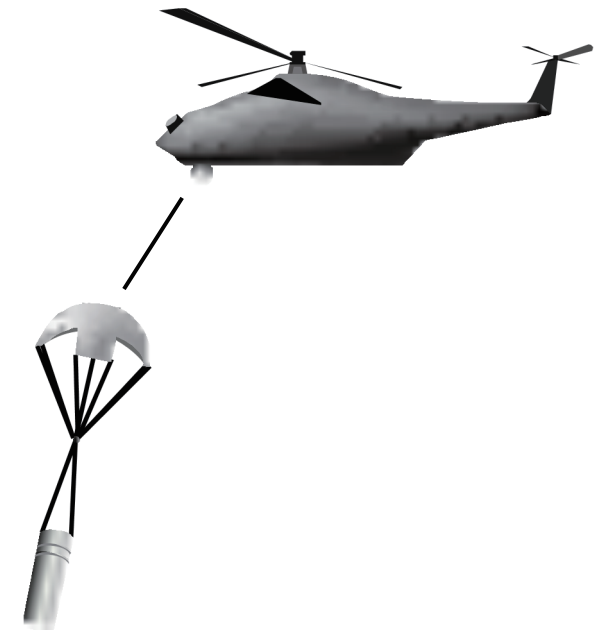
- 母艦型USVでの発着艦
- 水上アセットの見通し外通信の中継
- レーダー及び光学センサーによる海面監視
- ソノブイの敷設及び音響解析
- 吊下型ソーナーによる探知および水中アセットとの通信
- USV間の物資輸送
- 魚雷発射

主要性能

自律性

目標：現行の回転翼哨戒機と同等の機能・性能を無人で達成

技術課題：自動発着艦技術、行動判断技術、水中・水上目標自動類識別技術

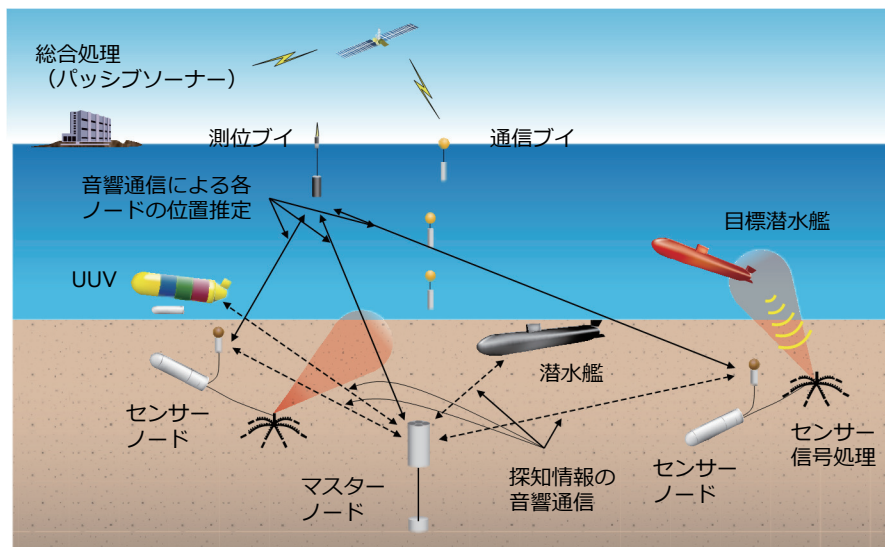


分散自律型センサー

航空機・艦艇・水中航走体等から海底に展開し、一定期間、無人で潜水艦の警戒監視を行い、探知情報を通信ブイ等を経由して通信する分散型自律センサー網システム。本システムの確立により、静粛化・ステルス化が進む潜水艦に対して監視範囲を動的に変化させ、継続的な警戒監視能力を向上させる。

主要機能

- センサーノードの自動目標探知
- 測位ブイによるセンサーノード・マスターノードの自己位置推定
- ノード間の音響通信中継伝送
- マスターノードによる探知情報通信
- 各ノードの機動的展開



主要性能

サイズ、重量

目 標：UUVにより展開可能なサイズ及び重量

技術課題：高エネルギー密度電池技術

探知性能

目 標：システム全体の消費電力を抑制しつつ、複数センサーが協調して探知能力を向上

1週間程度は内蔵電池のみで稼働

マルチスタティック探知により、探知距離は数十km（各ノード間の音響通信距離と同等以上）

技術課題：センサーノード単体および複数が協調した自律制御技術（低消費電力状態とアクティブ状態の遷移）、センサー展開技術、目標信号探知類別技術

音響通信

目 標：大容量データの安定した遠距離通信（数十km）

技術課題：通信するデータ量やSN比等の運用条件の変化に応じて最も適した変調方式を選択する音響通信技術

無人機母艦 (USV)

小型UUV, USVを投入・揚収し、UAVを発着艦させるとともに、これらの無人機にエネルギーや物資等を補給することで、無人機による広域にわたり常時継続的な警戒監視を支援する。また、水中アセットと衛星との通信の中継を行うことで、多数のアセットの有機協調を可能にする。

主要機能

- 自律航走（荒天下での安定した運用）
- 水中通信（有人機、無人機、海底センサー等）
- 衛星通信
- 小型UUV, USVの自動投入・揚収、UAVの自動発着艦
- 無人機への物資（電池、水中機器等）補給
- UUVへの水中給電

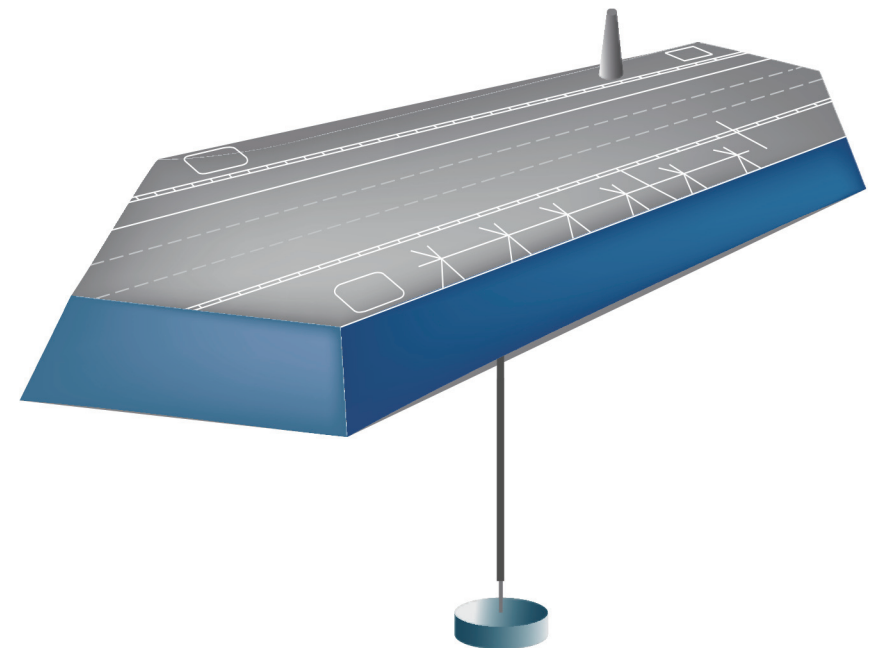
主要性能

滞洋性

- 目 標：数ヶ月の安定的な運用
- 技術課題：耐航性、自艦防護（ステルス性）

管制能力

- 目 標：発着、補給、給電等を効率的に実施するため、母艦近傍にある複数の無人機（UUV, USV, UAV）を管制
- 技術課題：近傍無人機の管制（位置の把握、通信の確立）、水中通信（大容量レーザー通信、長距離音響通信）



多用途UUV/UGV

海岸線付近において、情報収集、障害処理、先遣隊への物資配送等の多様な任務を実行可能な無人機。

センサー等により周辺環境認識を行うとともに、波浪等の外乱を考慮した姿勢・走行制御を実現することで、水中、汀線部及び陸上における情報収集、障害処理、物資配送等の活動がシームレスに可能となり、適用可能な任務が拡大。

主要機能

- 走破性（軟弱地・礁池・礁嶺）
- 複合駆動（潜水航行・汀線部走行・地上走行）
- 自律機動
- 姿勢・走行制御
- 輸送（小規模の物資配送）
- 情報収集・環境認識（水中・汀線部・陸上）
- 障害処理

主要性能

機動性

目 標：水中、汀線部及び陸上におけるシームレスな活動

技術課題：環境に応じた駆動制御、走破性（軟弱地・礁池・礁嶺）、駆動システムの複合化

自律性

目 標：姿勢・走行制御機能等を用い、人の介在を局限したシステム

技術課題：姿勢・走行制御、自己位置推定、故障対処、環境認識情報を活用した自律行動経路作成

情報収集・障害処理

目 標：偵察ダイバーと同等以上の運用効率

技術課題：水中、汀線部及び陸上における環境認識及び障害処理、障害等自動探知類別能力の向上

