



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

電磁波領域の取組

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
電磁波とは	3
電磁波領域とは	4
はじめに	5
電磁波領域における防衛省及び諸外国の研究開発の状況	6
電磁波領域に関する研究開発の取組のコンセプト	7
電磁波領域に関する装備品に求められる技術	8
電磁波領域に関する技術の分類	9
対処として重要な 高出力指向性エネルギー技術について	10
取り組むべき技術課題	11
研究開発ロードマップ	19
技術獲得後の将来像	21
おわりに	22

参考

用語の定義	23
防衛省におけるこれまでの取組及び国内外の技術動向	25
高出力指向性エネルギー技術に関する補足資料	30

電磁波とは (p.3)

電磁波領域とは (p.4)

はじめに (p.5)

電磁波領域における諸外国の研究開発の状況 (p.6)

電磁波領域に関する装備品に求められる技術 (p.8)

電磁波領域に関する技術の分類 (p.9)

防衛省におけるこれまでの取組及び国内外の技術動向 (p.25)

電磁波領域に関する研究開発の取組のコンセプト (p.7)

取り組むべき技術課題 (p.11-18)

主な研究開発ロードマップ (p.19-20)



研究開発
ビジョン
P07-08

電磁波領域の取組～電磁波領域における 優越の獲得を目指して

意義と課題

電磁波領域は、警戒監視、情報共有、精密誘導等、防衛における幅広い活動に関係する重要な領域であり、諸外国の電子戦能力が向上する中、**効果的・効率的な電磁波利用の実現**に関する取組が必要

機能	現状	課題
対敵	● ミサイル等からの回避に主に使用 ● 大型の電子妨害プラットフォームが主流 ● 妨害能力は対象の電子機器の電子防護能力の向上への対応が必要	● 高出力電磁波による各種ミサイル等の対処 ● 電子妨害プラットフォームの種類の拡大 ● 高度な電子防護能力を有する電子機器に対する電子妨害の対応が必要
電子戦能力	● 各種電磁波センサーによる遠距離探知の可能性 ● 高度な妨害能力によりレーダー、通信の使用が阻害される可能性 ● EMP 弾等による被害の可能性	● 各種電磁波センサーによる遠距離探知の回避 ● 高度な電子妨害の回避または緩和 ● EMP の影響からの防護
空間	● 電波の低被探知化技術の進展 ● 大型の電波収集プラットフォームが主流	● 低被探知化電波を感知する能力の強化 ● 電波収集プラットフォームの種類の拡大
電磁波管理	● 電磁波の効率的な利用のため電磁波状況把握が必要 ● 固定的な電磁波利用計画	● 電磁波状況の把握の一元化 ● 状況に応じた電磁波利用計画の柔軟化

電磁波管理を通じて**効果的・効率的な電磁波利用**を実現しつつ、諸外国の電子戦能力を上回る**高度な電子戦装備品**による費用対効果の高い**対敵効果**のための技術獲得が必要

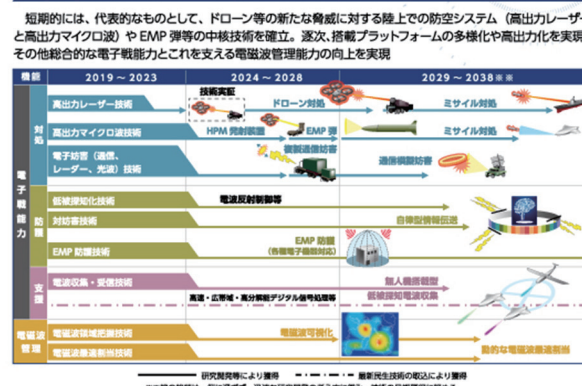
防衛省・自衛隊として獲得すべき技術

課題を解決するためには、**高出力指向性エネルギー技術**、**低被探知化技術**、**高度な電波収集技術**、**電磁波領域把握技術**等の技術の獲得が必要

機能	獲得すべき技術の例
対敵	● ドローン、各種ミサイル等多様な目標に対処可能な 高出力指向性エネルギー技術 (高出力レーザー、高出力マイクロ波) ● 各種プラットフォームに対応し、通信機や対象の電子防護能力に応じて、ネットワークも含む対象の最適な妨害を可能にする 電子妨害 (通信、レーダー、光波) 技術
電子戦能力	● 電磁波状況に合わせた 低被探知化技術 ● 妨害波の影響を回避または緩和する 対妨害技術 ● EMP から電子機器を防護する EMP 防護技術
空間	● 低被探知化信号や妨害波存在下での微弱な電磁波の受信・収集を可能とする、広帯域、高分解能の 受信技術 ● 無人プラットフォームに搭載可能な小型軽量な 電波収集技術
電磁波管理	● 電磁波の効率的な管理のために必要な、空間の電磁波状況や電磁波状況の一元化の把握を可能とする 電磁波領域把握技術 ● 電磁波状況に応じて、電磁波の利用計画を柔軟に変更し、効果的・効率的な電磁波利用を可能とする 電磁波最適計画技術

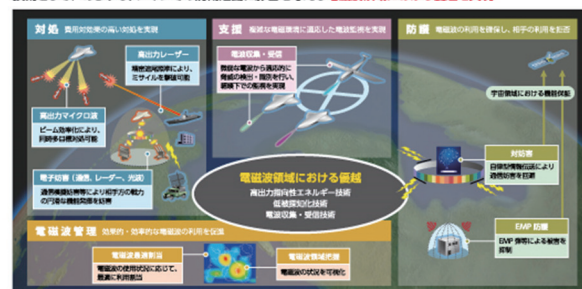
技術獲得の流れ

※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。



技術獲得後の将来像

指向性エネルギー、低被探知化、高度な電波収集、電子戦能力を担保するための電磁波最適計画等をコア技術として、あらゆるドメインでの防衛活動に影響を与える**電磁波領域における優越を実現**

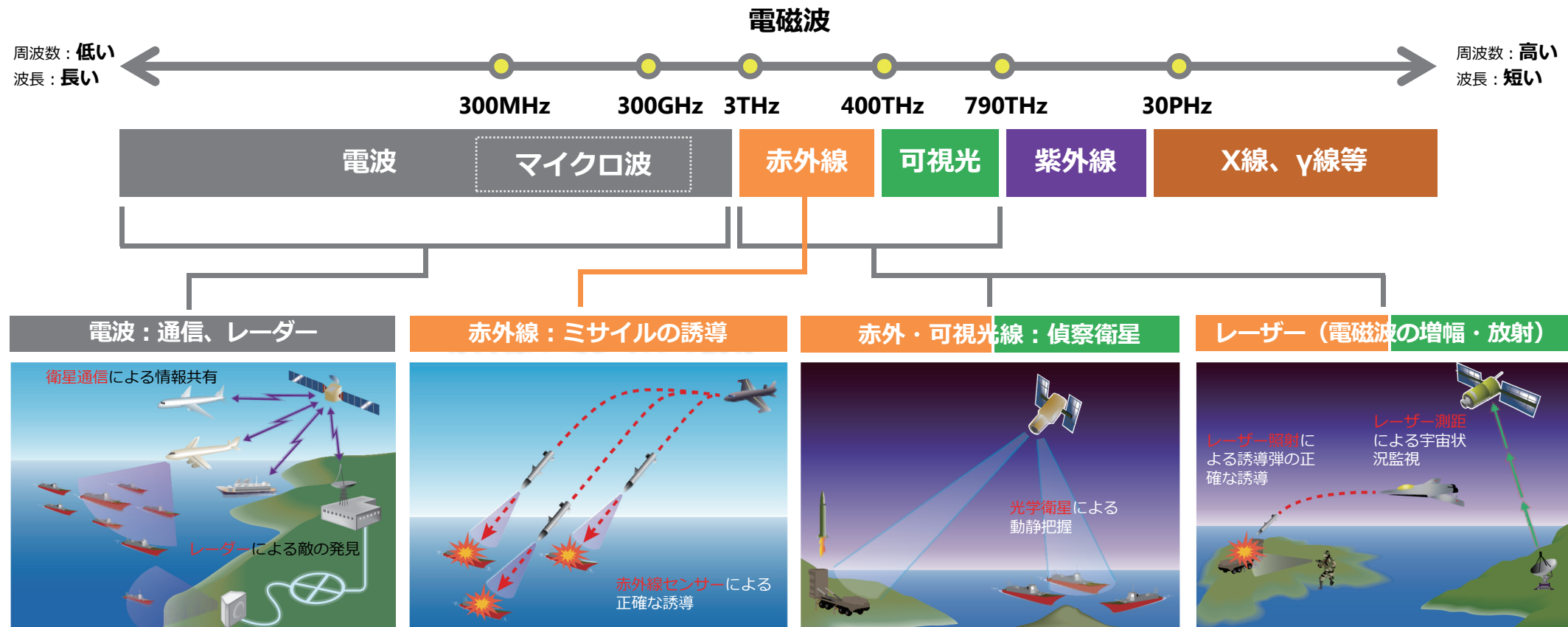


技術獲得後の
将来像 (p.21)

対処として重要な高出力指向性エネルギー技術について (p.10)

高出力指向性エネルギー技術に関する補足資料 (p.30-32)

電磁波とは、電波、赤外線、可視光線、X線等の総称である。



- 近年、**防衛分野における電磁波の利用が拡大**している。
- 具体的には、指揮通信、警戒監視、情報収集、ミサイルの精密誘導等に利用されており、技術の進展に伴い、その**重要性や活用範囲は今後も増大**と考えられる。
- また、こうした**電磁波の利用に対する妨害手段も発達**してきており、**電磁波分野において優位に立つことが、他の分野を含む防衛省・自衛隊の活動全般に大きな影響を与えるもの**となってきた。

※ 電波とは電波法に規定される3百万メガヘルツ（=3THz）以下の周波数の電磁波をいい、使用する周波数については総務大臣の承認が必要。

※ GHz：ギガヘルツ（1GHz=10億ヘルツ）、THz：テラヘルツ（1THz=1,000 GHz）、PHz：ペタヘルツ（1PHz=1,000 THz）

電磁波領域における能力

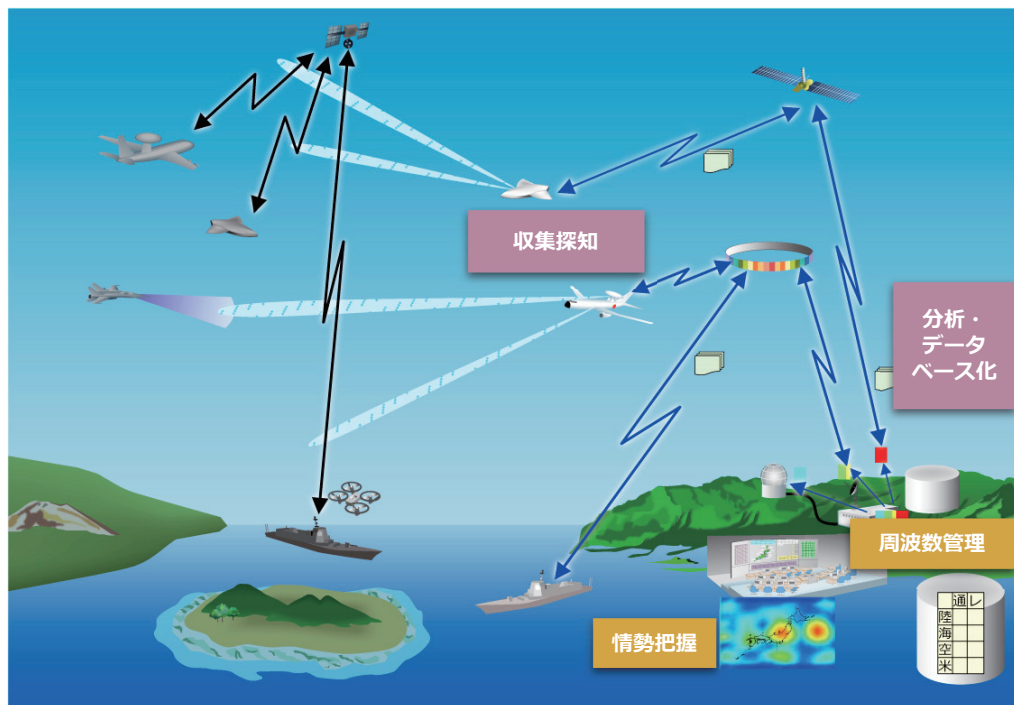
- 電磁波領域における能力は、電磁波を利用して戦闘を行う「電子戦」能力と、電磁波の利用を適切に管理・調整する「電磁波管理」能力とに大別される。
- このうち「電子戦」能力は、一般に、相手の戦闘能力を低減・無効化する「対処」、相手による電磁波妨害の影響を抑える「防護」、対処や防護を実施するために必要な情報収集などの「支援」から成る。



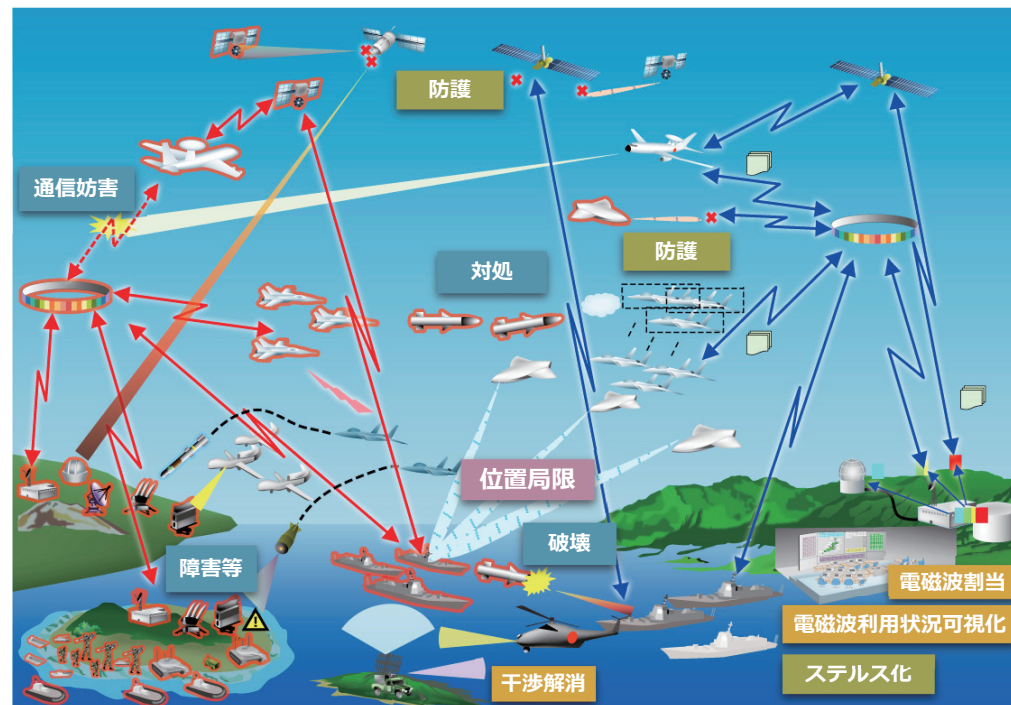
EA: electronic attack
EP: electronic protection
ES: electronic warfare support

電磁波領域における将来の活動のイメージ

平時 電磁波情報の収集、分析、データベース化



有事 対処、防護、支援及び電磁波管理を組み合わせた対応を実施



諸外国における電子戦に関する認識・取組

現代戦は、情報通信技術（ICT*1）の進展等に伴い、陸・海・空・宇宙・サイバーといった活動領域や、指揮統制、機動、攻撃といった活動の種類によらず、電磁波の利用への依存度をより高めている。

このような状況の中、近年諸外国では、電磁波の利用を阻害する取組を推進し、一部の国は、実戦において高い電子戦能力を示している。

ロシアは、軍近代化の結果、ウクライナ危機の際に無人航空機（UAV*2）等の活動を電子的に妨害し、ウクライナ軍の戦力発揮の妨害に成功したと言われている。またシリアへの軍事介入の際にも、クラスハ-4と呼ばれる電子戦システムを活用し、西側諸国による飛行禁止区域の設定を効果的に排除したと言われている。

中国は、2015年に設立された戦略支援部隊が、宇宙・サイバー・電子戦に関する任務を負うと指摘されている。また電子戦機の活動も活発化しており、我が国周辺においても、2017（平成29）年7月に初めてY-8 電子戦機が確認され、その後も東シナ海周辺で活動する電子戦機がたびたび確認されている。

米国は、2013年に電磁スペクトラム戦略を、2014年に電子戦政策を発表し、電磁波利用に関する柔軟性等の確保と電磁優位の確保のための取組を進めてきていたが、近年の諸外国等における電子戦能力の向上の中で、米国の電子戦における優位は厳しく脅かされているという認識が生まれ、米国防省は、電磁波領域を、陸海空、宇宙、サイバー空間と並ぶ領域・戦闘空間として位置付け、あらためて重視していく方針を強調している。



クラスハ-4

*1 ICT: Information Communication Technologies

*2 UAV: Unmanned Aerial Vehicle

防衛省における電子戦に関する認識・研究開発における取組の現状

「平成31年度以降に係る防衛計画の大綱」において、防衛力強化に当たっての優先事項として、宇宙・サイバー・電磁波といった新たな領域における能力を獲得・強化するとされている。

研究開発においては、電子戦に関する研究開発を一部実施してきてはいるものの、電磁波領域に関する体系的な研究開発をこれまで実施していない。電子戦に関する取組は秘匿性が高く、外国からの技術の入手に困難な側面があるため、我が国独自の研究開発が必要である。



- ① 電磁波の効率的・効果的な活用は現代戦の勝敗を左右する重要な分野
- ② 一部の国が高度な電子戦能力を保有する可能性があり、電磁波利用の阻害は現実的な脅威
- ③ 体系的な研究開発の取組の遅れと技術入手の困難性から、諸外国に技術的な差がつけられる可能性

といった理由から、**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することにより、各種施策を推進する。**

	諸外国	防衛省
対処	● オフボード（航空機の機体外設置式）のレーダー妨害技術や対象の通信に合わせた効率的な通信妨害技術が米国や欧州を中心に進展 ● 米国及び欧州において、大型及び小型高出力レーザーの研究開発が進展 ● 米国を中心に、ドローン（小型UAV）等対処に活用可能な高出力マイクロ波の研究開発が進展	● 訓練用レーダー妨害装置（ALQ-5）、エスコート・ジャマー（戦闘機搭載型電子防御装置）等の研究開発を実施 ● 戦術データリンク等に対する妨害の研究を実施中 ● 小型高出力レーザーの研究試作に平成30年度から着手。大型レーザーの構成要素の研究を実施
防護	● 米国及びロシアが、戦闘機に関する高いステルス技術を保有 ● 米国は、レーダー及び通信機器等で、妨害信号の抑制技術を保有	● 電波ステルス性の向上に寄与する研究を実施中 ● 電波妨害の効果を減少させるレーダーの研究を実施
支援	● 電子情報収集においては、受信機の広帯域化、高感度化、デジタル受信技術による受信処理の改善、人工知能技術の活用による信号識別の改善等が、米国及び欧州を中心に進展	● 方探性能、信号分析能力の向上として、次期機上電波測定装置の開発を実施中 ● 先進RF※自己防御において全球覆域のES装置の実現に関する研究を実施中 ※ RF: Radio Frequency（高周波の電磁波）
電磁波管理	● 米国を含む諸外国で、電磁波利用状況可視化・マネジメントツールを運用・開発	● システム内・プラットフォーム内での干渉抑圧等に関する研究を実施

我が国の状況

- 対処（電子妨害）及び支援については、開発・装備化等一定の実績あり。
- 防護については、要素技術の研究を実施する段階である。
- 電磁波管理については、検討に着手した段階

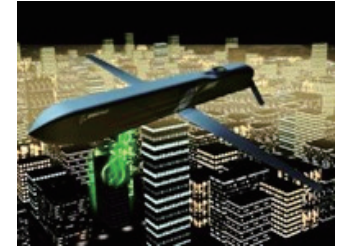
将来の電磁波領域における優越を確保するため、平時・有事を問わず空間の電磁波状況等を把握・分析し、有事においては、適切な電磁波管理の下、電子妨害等の対処を実施する必要がある。そのために情報収集範囲の拡大、分析・電子妨害能力等の向上、ネットワーク化、UAV等各種プラットフォームへの適合化、電子的な防護機能の向上を図ることが重要である。



電子戦の技術的進展

- 電磁波環境をリアルタイムに掌握し、電子戦統制を図ることにより、迅速で効果的な電子対処を実現することが、将来の戦場における戦闘優位へ直結
- 適切な**電磁波管理**下での戦闘において優位を確保するための基幹技術が重要
- 対象のレーダー及び通信の効果的な対処には、**電子的な防護技術の進展**の動向を踏まえた技術の発展が必要
特に、衛星を含めたネットワークによる対象の戦術データリンク網を監視し、有効な妨害をかけることは将来においても戦闘優位の確保に重要
- 民生分野における**レーザー加工技術の進展**により、高出力かつ高ビーム品質なレーザー光源が実現しつつあり、遠方の目標を破壊可能な高出力レーザーシステムが実現される可能性
- 米国において、高出力マイクロ波を照射する無人機（CHAMP）の飛行試験による技術実証に成功したとの報道があり、**高出力マイクロ波兵器は技術的には実用化段階と予測**
- 電子戦技術の性能向上には、その評価技術が重要かつ必要不可欠
- 電子戦に用いられる器材の**デジタル化の進展**に伴い、ソフトウェアにより多種多様な信号波形を簡易かつ柔軟に生成、また、動的に変更することが今後一般的となる可能性

無人（CHAMP）



出典：米空軍HP

今後の進展の方向性

- 戦闘優位を確保するために、レーダー及び衛星を含めた戦術データリンク網を監視し、必要に応じて**妨害**する技術は、今後も重要
- ネットワークの重要性が高まるにつれて通信波に関する電子的な防護性能も向上しており、**対傍受性・耐妨害性・低被探知性を有した通信波**へのより高度でスマートな通信妨害手法を確立する必要
- 大型機によるスタンドオフ・ジャマー、電波収集機の対極にある、小型無人機によるスタンドイン・ジャマー、電波収集の研究を進める必要
- 高速化する航空機やミサイルへの低リアクションタイムでの対処、小型無人機、迫撃砲弾といった大量の低価格な脅威への低コストでの対処といった観点で、**高出力指向性エネルギー兵器**の実現が必要
- 高出力マイクロ波については、対象への効果（対象の脆弱性）を継続的に調査分析・評価する必要
- 各種センサーに対する我アセットの**低被観測性を向上**する必要
- 電子対処、防護、支援の**遅滞ないサイクルを確立**するには、人工知能を活用するなどして相当程度の自動化が必要
- 将来の電磁波管理に向けて、効果的なESシステムの検討も必要
また、対象とする情報のデータ解析/分析技術の向上も必要
- 諸外国装備品のステルス性向上に対応可能な装備品の性能**評価技術**の向上も必要
- 電子戦技術は、民生分野では需要が少ないため、防衛省での積極的な取組が必要

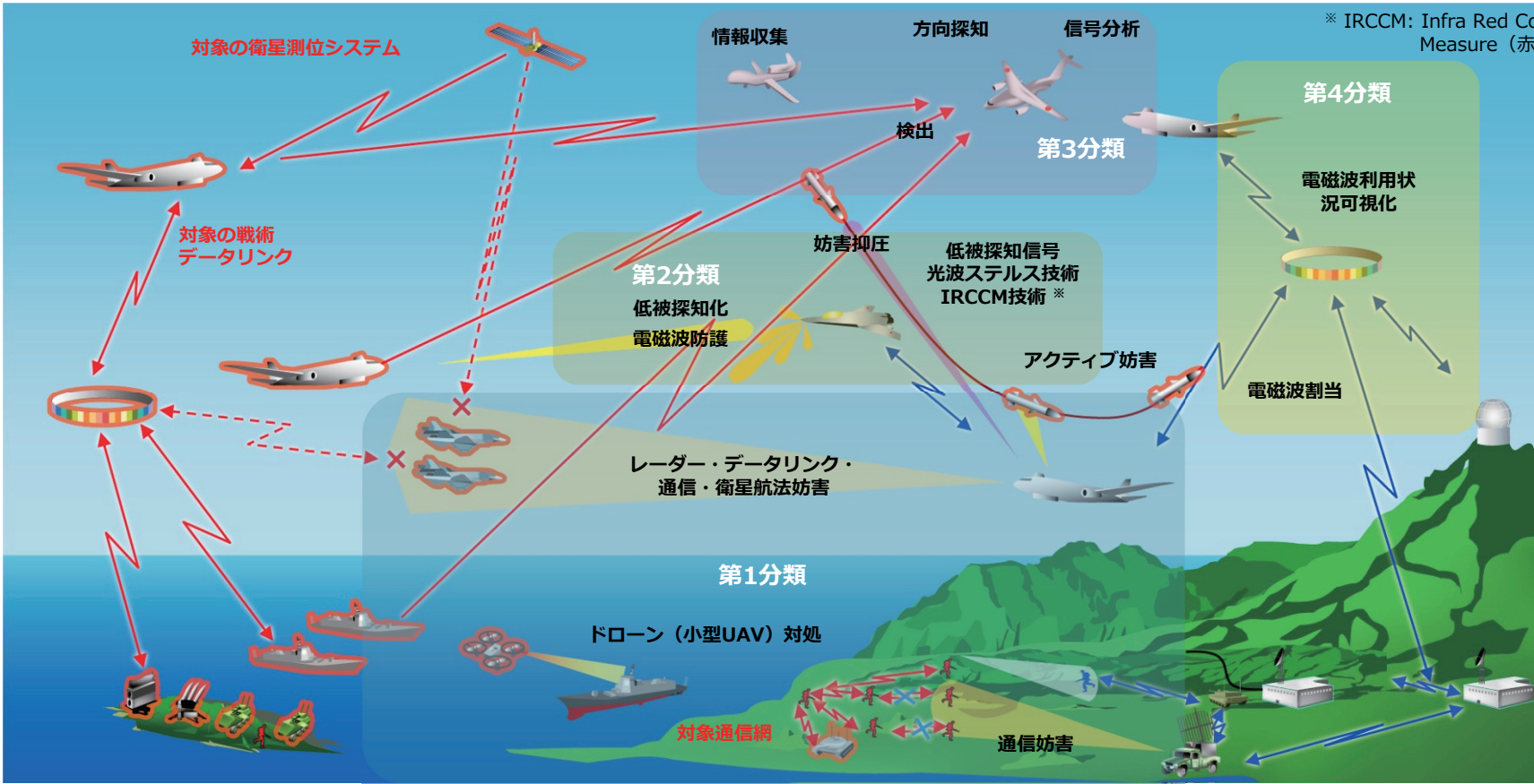
将来鍵となる先進的な電子戦技術

- 対傍受性及び対妨害性に優れた**戦術データリンク通信を高感度に探知受信・分析**後に最適な高出力妨害信号を送信する技術
- 対象の通信信号を複製、送信することで**データ誤り等を引き起こす**技術
- 電波放射局限下での有効な電波収集を可能とする無人機搭載型電波収集システム実現のための低被探知電波収集技術、データ統合技術、小型軽量化技術
- 高出力かつ高品質なビームを照射し目標を破壊する**高出力レーザー技術**
- 小型かつ高出力な**マイクロ波増幅モジュール技術**
- 相手からのレーダー波の反射に合わせた自らの放射電波の制御により、電波を打ち消し、ステルス化するための電波制御技術
- 遅滞の無い電子戦サイクルを実現するため、**処理の自律化・高速化を達成し得る人工知能等関連技術**
- レーダー、通信器材及び光波センサーに対し、各器材が連携して動作する状態で、戦闘機等の統合的な**電子戦能力を評価する技術**
- 多様な脅威への対処にも適用可能な高忠実度の評価技術
- バイスタティックレーダー^{*1}に対するRCS^{*2}評価技術や屋内実大目標計測技術
- 計測結果を反映させた電磁界解析による正確なRCS推定

^{*1} バイスタティックレーダー：異なる位置にある送信機と受信機を使用するレーダー

^{*2} RCS：Radar Cross Section

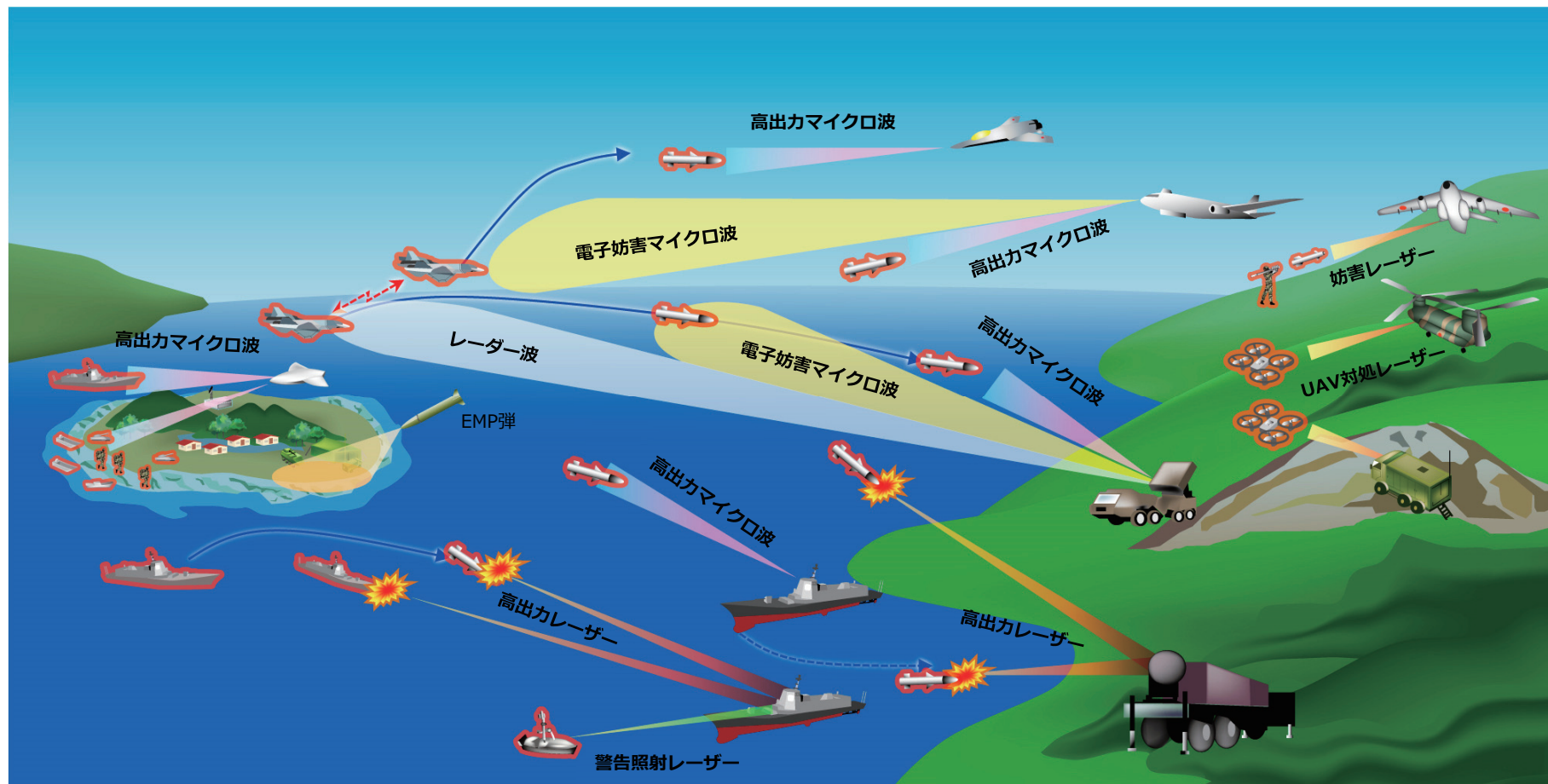
最も高度で長期の技術開発を必要とする**電子戦技術に係る研究開発を体系的に推進**することで、我が国が技術的優越を確保するための**先進技術を戦略的に獲得**し、将来の電磁波に関する活動で優越を確保する



分類	内容
第1分類（対処）	電磁波を用いたセンサー、通信機器等の妨害、欺まん、誤作動、破壊等が含まれる。具体例として、①遠距離からの妨害であるスタンドオフ・ジャマー、②中遠距離からの戦闘機等によるエスコート・ジャマー、③近距離からの妨害であるスタンドイン・ジャマー、④高出力レーザー・マイクロ波を用いた各種ミサイル等対処が該当する
第2分類（防護）	自己防護、電磁波防護、周波数ホッピング等の対妨害、電波迂回及び秘匿通信等の低被探知に関する技術を対象。
第3分類（支援）	電波を用いたESに関する技術を対象。電波の情報収集（方向探知、発射源の特定等）、信号の分析等が含まれる。
第4分類（電磁波管理）	電磁波の管理に関する技術を対象。干渉検出、電磁波利用状況可視化・把握・割当技術等が含まれる。

※ 各取組を進めるにあたっては、空間の電磁環境を正確に模擬し、最新の電子装備品の性能を正確に把握できる電子戦評価技術も必要。

※ DE: Directed Energy



対処①（電子妨害（通信、レーダー、光波）技術）

赤： 主として防衛省が研究開発する必要がある技術

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
妨害信号生成技術	プロトコル妨害技術	対象の無線通信のプロトコルを利用した妨害波により通信妨害する技術	対象の通信からプロトコルを推定し、これを利用した妨害波を生成・送信できること	対象の通信の状況に応じた低被探知な高レベルの妨害
	ユニークワード複製妨害技術	対象の無線通信の構造を利用した通信妨害技術	対象の通信波の構造を利用し、妨害波を生成・送信できること	
	受信信号再生技術	対象の通信に欺まんした妨害波を生成する技術	対象の通信波を復調可能な精度で複製できること。受信信号を記録・再生できること	
	高忠実度信号生成技術	受信信号に忠実な妨害信号を生成する技術	高ビットDRFM※を実現すること	電子的な防護性が高い電子機器の妨害
	時刻同期欺瞞技術	通信の時刻同期を欺瞞する技術	時刻の同期方法を分析して同期をさせないように妨害できること	データリンクや衛星航法等に対する効率的な妨害
妨害送信技術	高出力・広帯域送信技術	高出力・広帯域で送信する技術	高出力・広帯域な送信モジュールを実現すること	妨害可能電子機器の拡大
妨害制御技術	リンク妨害技術	戦術データリンク妨害及び衛星航法妨害を効率的に行う技術	通信波に応じた広帯域で妨害効率の高い妨害手法を選択し、妨害信号の制御及び送信ができること、並びに、衛星航法妨害ができること	データリンクや衛星航法等に対する効率的な妨害
	高速応答妨害	妨害する信号の受信と妨害信号の送信の最適なタイムマネジメントを行う技術	送受信間的高速なデータ転送を実現すること	
	送信タイミング制御技術	任意のタイミングで対象に妨害波を受信させる	対象の通信タイミングを推定できること	対象の通信の状況に応じた低被探知な高レベルの妨害
アクティブ妨害技術（光波）	妨害技術	赤外線シーカーに対し、種類を識別し、変調妨害あるいは飽和妨害を行う技術。構造放射を利用することで赤外線の放射スペクトルを制御し、センサー使用領域における放射を抑制する技術	ミサイルシーカーにレーザー光を継続的に照射し続け、レティクル型／画像シーカーを判別し、変調妨害あるいは飽和妨害を行うこと	赤外線シーカー型ミサイルに対する能動的な妨害による回避
	連接技術	MWSと妨害装置を接続し、目標の移管を受ける技術	MWSと妨害装置を接続し、MWSからの目標情報を受けて目標追尾に移行すること	
	耐環境性技術	大型航空機に搭載して運用するための技術	大型航空機搭載の耐環境性を有すること	

※ DRFM: Digital Radio Frequency Memory MWS: Missile Warning System

対処②（指向性エネルギー技術）

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

主要構成技術		技術の概要	技術的課題	期待できる効果
高出力レーザー	レーザー光源技術	単一のレーザー光源の出力を向上させる方式の実現に必要な要素技術	小型かつ取り扱いが容易な電気駆動型のレーザーは、物理的な出力限界があることから、出力を最大限高める技術が必要	各種ミサイル等対処にも活用可能な高い目標破壊能力
	ビーム結合技術	複数のレーザー光源から発生する出力を、エネルギー及びビーム品質の低下を抑制しつつ合成する方式の実現に必要な要素技術	複数のレーザーを束ねた場合、ビーム品質の低下等を招く熱要因を均一に除去する技術等が必要	
	目標精密追尾照準技術	大気の状態を加味した精密追尾、目標上への的確な集光の実現に必要な要素技術	安定した精密追尾照準を高速目標に対して実施	各種ミサイル等への正確な照射
高出力マイクロ波	電力増幅モジュールの小型高出力化技術	限られた搭載空間にて高出力送信を可能とする高出力マイクロ波システムの実現に必要な要素技術	半導体技術の動向を考慮するなど、高出力マイクロ増幅モジュールについて、より効率的な方式の選定が必要	各種ミサイル等対処にも活用可能な高い目標破壊・誤作動能力
	電力増幅モジュールのアレイ化技術	高出力マイクロ波が照射可能な電力増幅モジュールを用いたアクティブ・フェーズド・アレイの実現に必要な要素技術	高出力マイクロ波が照射可能な電力増幅モジュールをアクティブ・フェーズド・アレイ化し、エネルギー／ビームマネジメントを実現する技術が必要	
	妨害効果計測評価技術	ミサイル等に対する高出力マイクロ波照射時の影響の計測評価技術	ミサイル内部における電界強度の正確な把握と回路等で生じる現象を捕らえて解明する技術が必要	
	パワーモジュール技術	電子機器を破壊するために高い尖頭電力の実現に必要な要素技術	より高い性能を得るための新素材開発等が必要	各種プラットフォームへの搭載可能性向上
	搭載環境対応技術	各種プラットフォーム搭載環境および電磁環境に対応可能な構成要素技術	耐振性、耐湿性等の耐環境性技術、送信時の自機内および僚機への影響対策等の技術が必要	
	ビーム効率化技術	ビーム指向の収束化技術、同時多目標化技術、MIMO※技術	モジュールごとの位相及び強度を調整し、波面を制御する技術が必要	
	EMP弾技術	EMP弾技術	電子機器を有する装備品をソフトキルにより無効化する技術	EMP耐性を有する電子機器に有効なEMP弾
		対EMP防護技術	電子機器のEMP防護性能に打ち勝って電子機器の無効化を実現する技術	

※ MIMO: Multiple Input Multiple Output

防護 ①

赤： 主として防衛省が研究開発する必要がある技術

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
低被探知化技術	電波反射制御技術	アンテナと共存し、到来波に対して位相変調することで反射周波数を制御する技術	アンテナと共存させて電波反射制御するため、電波放射への影響を最小限にする技術を確立する必要がある	運動性能を制約しないステルス化
	RCSマネジメント技術	自らのRCSプロファイルをデータとして保持し、電波反射全体をマネジメントする技術	角度及び周波数に応じてRCSプロファイルが変動するため、それらを精緻に把握し適切に電波制御する技術を確立する必要がある	
	メタマテリアル技術※1	電波反射特性の最適化により被探知性を抑制する技術	適用箇所毎のステルス性と材料特性の両立	
	レーダー波のクロウキング技術	電波を迂回させることで対ステルスレーダーに対抗するステルス化技術	広帯域化及び複雑形状への適用	対ステルスレーダーからの被探知の回避
	難燃性CFRP※2	難燃性樹脂の適用等によりCFRP構造の耐火性を向上する技術	熱可塑性樹脂等の耐熱高分子基複合材の適用	軽量なステルス構造
	低RCS構造技術（ボルトレス接合）	施工費・CFRP使用量低減により、軽量・高残存性（耐衝撃・低RCS（形状））の構造を全CFRP構造に比べて低コストで実現する技術	衝撃強度評価技術 環境性能評価	低コストでのステルス化
対妨害技術	到来方向抑圧技術	妨害波の到来方向の受信感度を下げる技術	複数波対処、狭ビーム化	探知又は通信の継続
	2次元抑圧技術	妨害波の到来方向と周波数の受信感度を下げる技術	高速化、狭ビーム化	
	ホッピング技術	妨害の周波数とは異なる周波数へ遷移して通信あるいは探知を継続する技術	短パルス化、高速化	
	抗たん技術	妨害下での信号品質の低下を局限する技術	妨害を受けにくい変調方式	
	自律型情報伝送技術	妨害下でも自律的に通信を確立、維持する技術	通信状況から、効率的な周波数、通信方式を選択する制御方式	
	通信環境推定技術	電波環境（干渉波、妨害波）、無線機の配置情報、周波数割り当て情報等の無線機周辺の通信環境を推定する技術	高精度の通信環境推定	
低被探知信号技術	秘匿化	暗号化により傍受されても分析を回避する技術	暗号技術、変復調方式	自己位置等の秘匿
	ホッピング技術	探知されないように周波数を次々に変える技術	短パルス化、高速化	
	周波数拡散技術	送信電力を周波数方向に拡散する通信技術	広帯域化高効率化、広帯域化に伴う位相同期	
	低電力化技術	時間あるいは周波数方向に尖頭電力を下げてES等の受信電力を低下させて低被探知化する技術	通信効率と両立する尖頭電力の低下方法	

※1 CFRP: Carbon Fiber Reinforced Plastic

※2 メタマテリアル： 金属等の導電体を電磁波の波長以下の間隔で周期的に配列した構造とすることで、自然界には無い電気的性質を有する構造体である。

防護 ②

赤： 主として防衛省が研究開発する必要がある技術

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
光波ステルス技術	<u>赤外線不要放射抑制技術</u>	構造放射を利用することで赤外線の放射スペクトルを制御し、センサー使用領域における放射を抑制する技術	近／中／遠赤外への対応、耐熱性、大面積化
	<u>赤外線吸収技術</u>	熱源からの赤外線放射を散乱、吸収するステルス化技術	吸収量の向上、施工性の確保
	<u>被探知性低減将来要素技術</u>	可視光線の屈折率等を制御して、可視光下において、被発見率を低減する技術	可視光反射量及び屈折率制御技術
	<u>赤外線放射低減塗料技術</u>	塗料を塗ることにより車体の赤外線放射を低減する技術	赤外線放射低減技術、耐環境性技術
	<u>被探知性低減システム技術</u>	赤外線放射量を周辺環境と同一となるように車両表面の温度を制御する技術	赤外線放射量制御技術
	<u>形状（排気位置変更）技術</u>	形状や放水により赤外線放射量を低減する技術	低コスト化
	<u>材料・塗装技術</u>	塗料や材料により赤外線放射量を低減する技術	低コスト化
IRCCM技術	<u>光波ドーム技術</u>	SRM※システムのための耐妨害性の向上	ドーム材料技術、光学特性技術、耐雨滴性
<u>電磁波（EMP）防護技術</u>		強い電磁波から電子機器を防護するために必要となる要素技術	脅威となる電磁波の性質に合わせた防護対策技術が必要
<u>耐レーザー技術</u>		レーザー攻撃への耐性を高める耐レーザー要素技術	レーザー照射された超高温部位から効果的に熱拡散する素材又はレーザー光を反射可能な素材・表面処理技術が必要

※ SRM: Short Range Missile

支援

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

主要構成技術		技術の概要	技術的課題	期待できる効果
電波収集技術	高精度方探技術	高精度に複数の到来方向推定を行う技術	複数波を分離し、高精度に方向推定が可能なアルゴリズムを実現すること。	高精度の位置局限
	通信波分析技術	通信波の諸元を推定する技術	劣悪な受信環境下で微弱な通信波から諸元を推定できること。	微弱な電波からの通信諸元の推定・分析
	低被探知電波収集技術	アジャイルレーダー※1やスペクトラム拡散※2通信等の低被探知電波収集技術	空間的、周波数的、時間的に低被探知な電波の収集が可能なこと	低被探知化された電波の収集
受信技術	広帯域受信機技術	受信機の広帯域化技術	瞬時探知性向上のための受信機の瞬時帯域を広帯域化	低被探知化された電波の受信
	高分解能受信機技術	受信機の高分解能化技術	受信機を高ビット化しダイナミックレンジ※3を拡大する	
	リンク監視技術	耐妨害性を有する戦術データリンク通信を広帯域・高感度で受信する技術	高速・広帯域に周波数ホッピングする通信波を受信できること、及び、通信波の方位探知及び諸元分析ができること。	耐妨害性を有する戦術データリンクの妨害
	適応型電波受信技術	受信環境に応じて最適な受信処理アルゴリズムに切り替える技術	受信信号から受信環境を推定し、処理アルゴリズムの切り替えができること。	電磁波が輻輳する劣悪な電波環境における電波受信
	広帯域/高分解能受信技術	劣悪な受信環境下における広帯域信号の受信	劣悪な受信環境下で微弱な通信波から広帯域信号を高分解能で抽出できること。	
ネットワーク化技術	データ統合技術	伝送容量の低減を目的とした、機上での簡易分析技術（周波数、変調方式、パルス幅等の抽出）	受信電波の電波諸元（周波数、変調型式、方位等）を機上で抽出し、地上への伝送技術	無人機等の小型のプラットフォームでの電波情報収集
	小型軽量化技術	無人機のペイロードに応じたアンテナ、受信機の小型・軽量化技術	既存のアンテナ及び受信装置の性能を保持しつつ、小型・軽量化が可能なこと	
	情報共有技術	各種プラットフォーム間で電磁波情報を瞬時に共有する技術	各種電磁波装置を搭載したプラットフォーム間で電磁波情報を瞬時に共有する技術	
光波検出技術	検出技術	飛来するミサイルの初期探知として、紫外線あるいは赤外線を検出する技術	微弱信号の探知	ミサイルの回避

※1 アジャイルレーダー： 送信機の搬送周波数を、パルス間又はパルス群間でパルス帯域幅以上の量、擬似ランダムシーケンスで変化させる機能を有するパルスレーダー

※2 スペクトラム拡散： 情報の有する周波数帯域幅に比して、数十から数千倍に周波数を拡散してEP性を向上させようとするもの

※3 ダイナミックレンジ： 電子機器が処理可能な最大信号と最小信号との比

電磁波管理

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

主要構成技術		技術の概要	技術的課題	期待できる効果
電磁波領域 把握技術	電磁波可視化技術	戦闘空間における電磁波の状況を情報収集し、地図等と連動して可視化する技術	周波数や周囲の地形等による電磁波環境の変化を考慮し、電波マップを広域又はリアルタイムに生成及び可視化する技術	電磁波状況把握の容易化
	情報統合・ 管理技術	戦闘空間における電磁波の情報を把握し、他のユニットやシステムからの電磁波情報や新たに検出した電磁波情報を管理統合する技術	ユニットやシステム間のデータフォーマットの違いを変換する技術や電磁波情報を相関判定・統合する技術	各電磁波情報の効率的な管理
	干渉検出技術	空間における電磁環境の干渉等の有無を識別し、干渉・電子妨害の対象及び状況を明らかにする技術	リアルタイムでの干渉検出及び原因特定	電磁波干渉の識別
	電波伝搬計算技術	電波諸元が動的に変化する電磁波に対し、地形等を考慮した電波伝搬を見積もる技術	広域での電波伝搬・干渉を計算し、予測する技術	電磁波使用計画策定の支援
	電磁環境分析技術	収集された電波情報と地形等の多様な周辺情報から、電波妨害源、電波諸元等を把握するため、高速な自動化処理を実現する技術	平素からの収集情報を用い、電子戦支援等における受信波からの電磁環境を迅速に推定する技術	電磁妨害源、電波諸元等把握による指揮統制の迅速化
電磁波最適 割当技術	電磁波割当 最適化技術	使用可能な電磁波の割り当て状況を空間、対象等ごとに管理し、最適な割当方法を発見する技術	電磁波環境が動的な状況において、広域での電磁波の組み合わせを最適化する技術 行動エリア内の電磁波状況に応じて電磁波の組み合わせを高速に最適化する技術	電磁波の効率的な利用
	計画立案 支援技術	COA※の分析、行動に伴う電磁干渉予測・評価により、電磁戦闘の作戦計画の立案を支援する技術	作戦サイクル時間内でのCOA評価	作戦計画立案の迅速化
	対処行動 案出技術	周波数切替、アセット移動等の対処法の選択、電子対処の判断及びその電波諸元の選択、これらの行動に係るセンサ、無線機、電子戦装置等の干渉回避等といった、専門的かつ迅速性が求められる行動判断を支援する技術	効果的な電子対処や支援の実施とその影響を局限するための行動判断を自動化	行動判断の迅速化

※ COA: Course of Action

電子戦評価 ①

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

主要構成技術	技術の概要	技術的課題	期待できる効果
評価・シミュレータ技術	電子戦評価技術	将来の広帯域に周波数を使用する電子戦機材に対応することが今後の課題。 屋内での光波電子戦機材の評価に関しては、現在までに実績がなく、技術の確立には、長い時間を要する。	• 電子的な対処、支援に関する装備品の性能を、電磁波を外部に漏えいすることなく評価可能とすることにより、諸外国からの情報収集を回避して装備品の研究開発を実施可能
	電波環境模擬技術	多数のレーダー波・通信波が輻輳する環境を模擬することが今後の課題。 屋内での光波電子戦環境の模擬に関しては、現在までに実績がなく、技術の確立には、長い時間を要する。	• 対処の効果を正確に評価することで、必要な性能向上・対策を明らかにし、効果的な対処を実現
	バイ／マルチスタティック模擬技術	任意の方位・仰角から任意のタイミングで複数の送信源・反射波を模擬する技術	• 実際に近い電磁環境下での電波受信を正確に模擬、電波収集能力を正確に評価することで、必要な性能向上・対策を明らかにし、効果的な支援を実現
	クラッタ空間広がり模擬技術	クラッタを含み空間的な広がりを持つ電波環境を模擬する技術	
	マルチセンサー統合模擬技術	電波と光波のセンサーに注入する模擬信号を生成する技術	• 通信機器、レーダー等の電波輻射状況を正確に評価し、電波の被探知可能性を正確に把握することで、必要な傍受・妨害耐策を明らかにし、効果的な防護を実現
	輻輳電波環境模擬技術	通信・電波・電子戦の電波が輻輳した環境を模擬する技術	

※ 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。送信機と受信機ともに1つの場合がバイスタティックレーダー。

電子戦評価 ②

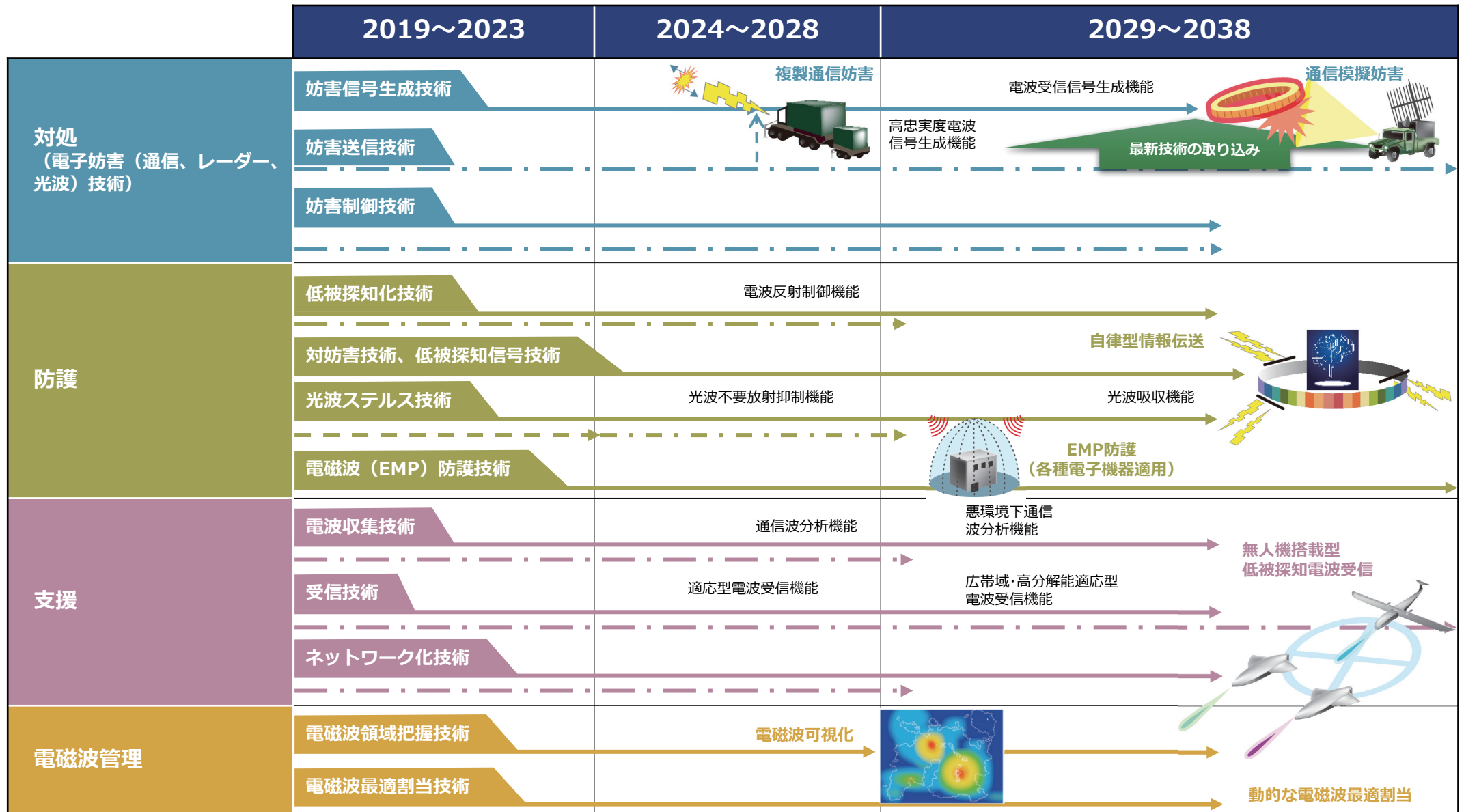
赤： 主として防衛省が研究開発する必要がある技術

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

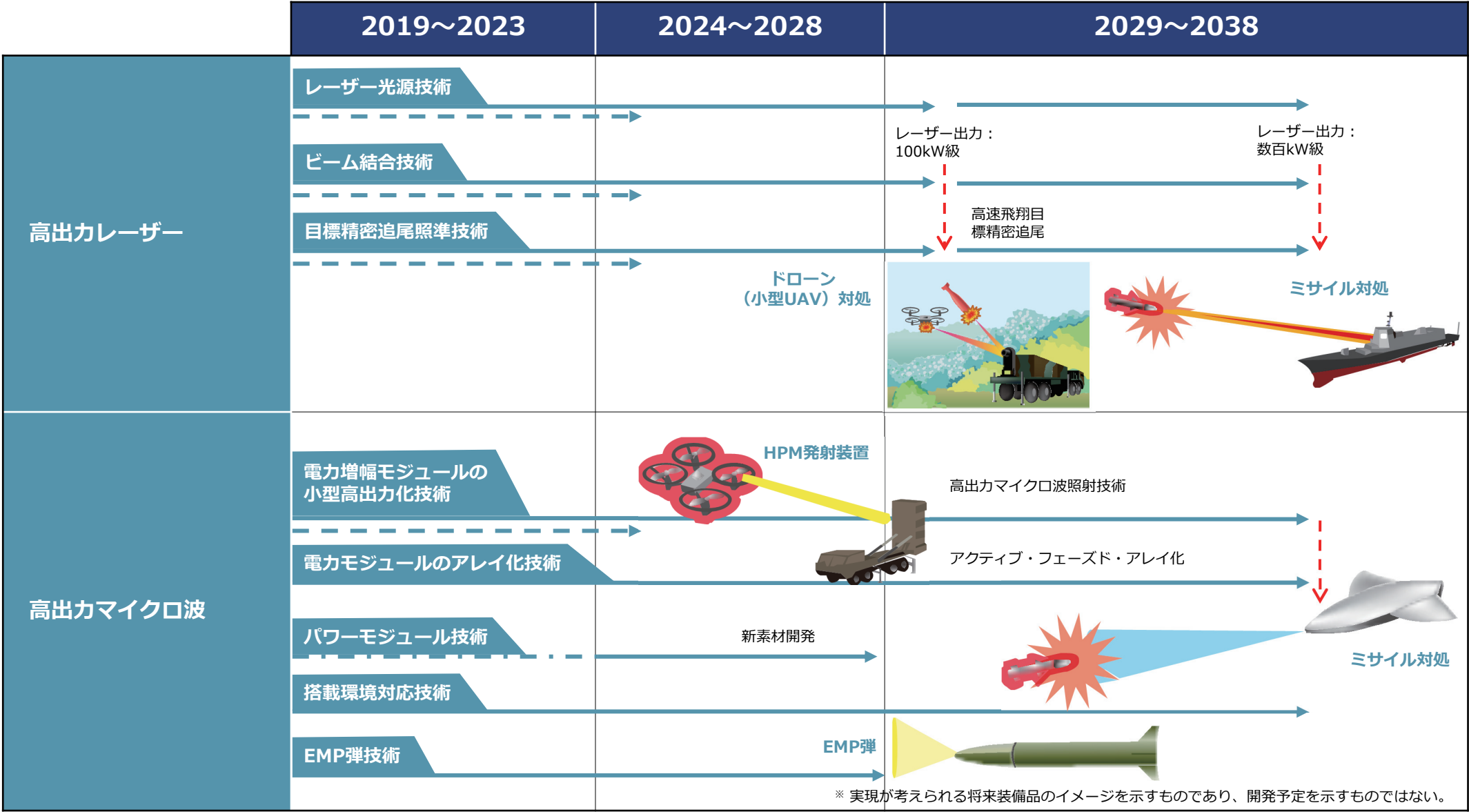
水色： 民生分野における進展を待つ技術

主要構成技術			技術の概要	技術的課題	期待できる効果
RCS計測・ 計算技術	屋外静的計測 技術	高精度静的計測技術	静止した対象についてRCSを高精度に計測する技術	不要波抑圧	諸外国が保有する多種多様なレーダーに対するRCSを正確に把握することで、RCS低減のために必要な措置を明らかにし、装備品の電子能力を向上
		反射源特定技術	逆合成開口レーダー処理により画像化し反射源を特定する技術	逆合成開口レーダー処理	
		バイスタティック計測技術	バイスタティックRCSを静的に計測する技術	バイスタティック近傍界遠方界変換 バイスタティック不要波抑圧	
	屋外動的計測 技術	高精度動的計測技術	運動状態でのRCSを高精度に計測する技術	計測対象の位置及び姿勢角等によるデータ補正	
		反射源特定技術	逆合成開口レーダー処理により画像化し反射源を特定する技術	逆合成開口レーダー処理	
		バイスタティック計測技術	バイスタティックRCSを動的に計測する技術	送受間の統制及び校正 計測対象の位置及び姿勢角等によるデータ補正	
	屋内静的計測 技術	高精度静的計測技術	静止した対象についてRCSを高精度に計測する技術	超大型コンパクトレンジ又は超近傍界遠方界変換処理	
		高分解能反射源特定技術	逆合成開口レーダー処理により高分解能に画像化し反射源を特定する技術	実機等大型目標の姿勢角制御	
	電磁界解析技術	高精度解析技術	対象の形状や材質等を入力しシミュレーションによりRCSを推定する技術	厳密解法と近似法のハイブリット化 処理の高速化 所要メモリ量の低減	
		動的影響模擬技術	対象の運動状態及び周囲の環境等の動的影響を模擬し、被観測性を推定する技術	動的影響の解明 RCSシミュレーションへの動的影響の反映	



- 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。



—— 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。

指向性エネルギー、低被探知化、高度な電波収集、電子戦能力を担保するための電磁波最適割当等をコア技術として、あらゆるドメインでの防衛活動に影響を与える**電磁波領域における優越を実現**



主な研究開発の進め方

- 電磁波に関する活動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。
- 電磁波に関する活動の確立のためには、技術の獲得と合わせて、電磁波情報の共有、行動の統制・最適化等、陸海空自衛隊の統合運用の深化が必要であることから、研究開発はこういった**運用の検討と歩調を合わせて**実施する。
- 研究開発の実施に当たっては、**電子戦評価に関する技術を適切に活用**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。
- 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。

サイバー等の関連領域に関する諸外国の動向を注視

- 電磁波領域とサイバー空間との関係については、米軍においてCEMA^{※1}（サイバー電磁活動）、EMW^{※2}（電磁機動戦）といった、両者を一体化した考え方が現れるようになってきているものの、世界的には議論されている段階である。諸外国の議論を注視しつつ、**電磁波領域とサイバー空間での活動について、今後必要に応じて整理**していく。

※1 CEMA: Cyber Electromagnetic Activity

※2 EMW: Electromagnetic Maneuver Warfare

- 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

用語の定義



名称（略称）/英語名称	定 義
指向性エネルギー（DE）/Directed Energy	電磁波エネルギー等を集中してビーム状の高出力なエネルギーに変えたものであり、具体的には高出力マイクロ波、高出力レーザー等が該当する。
電磁パルス（EMP）/Electromagnetic Pulse	瞬時の強力な電磁波であり、電子機器に過負荷をかけ、干渉や破壊を引き起こすものである。
デジタル高周波メモリ（DRFM）/ Digital Radio Frequency Memory	受信した電磁波をデジタル化し、デジタル信号処理により加工した電磁波を再送信する電子機器であり、高度なレーダージャミングを可能とする。
ミサイル警戒装置（MWS）/ Missile Warning System	ミサイルが発するレーダー波、又は噴煙等から放射される赤外線等を探知して、ミサイルの接近警報を発する装置である。
MIMO/Multiple Input Multiple Output	分散配置した複数の空中線からの送信（受信）信号を合成し、高いアンテナ利得を得る技術である。
アクティブフェーズドアレイ/Active Phased Array	複数のアンテナを面状（アレイ）に並べ、それぞれのアンテナの位相を操作することにより、電子的に送信、もしくは受信のビーム方向を走査することができるアンテナ技術である。アクティブ型は、各素子アンテナに送信電波の増幅器を取り付け、送受信機能を分散することにより、信頼性・整備性の向上、小型軽量化等を図ることが出来る。
メタマテリアル/Meta Material	金属等の導電体を電磁波の波長以下の間隔で周期的に配列した構造とすることで、自然界には無い電氣的性質を有する構造体である。
炭素繊維強化プラスチック（CFRP）/ Carbon Fiber Reinforced Plastic	炭素繊維を強化材とし、プラスチックを母材とする複合材料である。
ダイナミックレンジ/Dynamic Range	電子機器が測定可能な最小信号値に対する最大信号値の比である。
スペクトラム拡散(SS)/Spectrum Spread	情報の有する周波数帯域幅に比して、数十から数千倍に周波数を拡散して電子防護性を向上させようとするものである。
アジャイルレーダー/Agile Radar	送信機の搬送周波数を、パルス間又はパルス群間でパルス帯域幅以上の量、擬似ランダムシーケンスで変化させる機能を有するパルスレーダーである。
マルチスタティックレーダー/Multi Static Radar	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である。送信機と受信機ともに1つの場合がバイスタティックレーダーである。
合成開口レーダー（SAR）/ Synthetic Aperture Radar	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であり、航空機や人工衛星等に搭載して地表面の画像化等に使用される。



参 考

防衛省におけるこれまでの研究 成果及び国内外の技術動向

- 電子戦技術全般
- 高出力指向性エネルギー技術

第1分類（対処）

- 訓練用ではあるがレーダーに対する妨害としてALQ-5を実施し運用中
- エスコート・ジャマーについては戦闘機搭載型電子防御装置を開発
- 陸上での通信妨害システムとして新電子戦システムを開発
- 戦術データリンク、衛星航法に対する妨害に関する研究を実施中



第3分類（支援）

- 方探性能、信号分析能力の向上として、次期機上電波測定装置を開発中
- 先進RF自己防御において全球覆域のES装置の実現に関する研究を実施



第4分類（電磁波管理）

- 電磁波管理に関する要素技術の調査に着手

第2分類（防護）

- 電波ステルス性の向上に寄与する研究を実施中
- 「早期警戒滞空型レーダの研究」において、電波妨害の効果の減少にも有効なSTAP※方式を採用したレーダーの研究試作を実施

- ✓ 第1、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2分類については、要素技術の研究を実施中
- ✓ 第4分類については、今後実施内容を検討

※ STAP: Space-Time Adaptive Processing. 時空間適応処理

第1分類（対処）

- レーダー妨害は、オンボードでの高出力化・広帯域化には限界があるため、昨今はオフボードの妨害技術が進展。米国は戦闘機への搭載を想定したポッド型次世代妨害装置（NGJ）を開発中。



NGJ

出典：Jane's

- 通信妨害は、相手の通信に合わせた効率的な妨害波の生成と電力マネジメントの観点で主に米国及び欧州で技術開発が進展。

第2分類（防護）

- ステルス性は飛行性能との両立等が課題。戦闘機については、米国及びロシアが高い技術を保有しており、米国はF-22を運用するとともに、ロシアはPAK-FA/T-50を開発中。
- 妨害信号の抑制は、レーダー及び通信機器それぞれで、適応的ヌル点形成等の技術が進展。



F-22

出典：米空軍

第3分類（支援）

- 電子情報収集においては、対象レーダー・通信機器の低探知化に対応するため、受信機の瞬時帯域幅の広帯域化、高感度化及び方位探知の高感度化が進展。また、DRFM等のデジタル受信技術による受信処理の改善、人工知能技術の活用による信号識別の改善等が、米国及び欧州を中心に進展。

第4分類（電磁波管理）

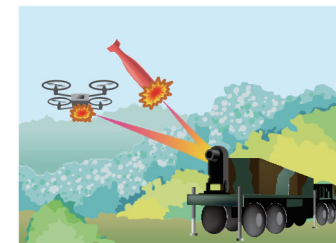
- 米国を含む諸外国で、電磁波可視化・マネジメントツールを運用・開発。
- 電磁波の干渉検出、割り当て等については、主に民生の通信分野で進展しており、軍用についても民生技術を活用し、運用に則した電磁波の割当等が今後行われるようになると推測。

高出力レーザー

- 地上設置又は艦船等を想定した大型プラットフォームに搭載可能な高出力レーザーシステムについては、飛来するミサイルの対処を目的とした「高出力レーザーシステム構成要素の研究試作」を実施。システムの成立性を確認。
- 車両等の小型あるいは中型のプラットフォームに搭載可能な高出力レーザーシステムについては、小型無人機や迫撃砲弾等の対処を目的とした「電気駆動型高出力レーザーシステムの研究試作」を平成30年度より実施。



高出力レーザーシステム構成要素の研究試作



電気駆動型高出力レーザーシステムの研究試作

高出力マイクロ波

- 大型の高出力マイクロ波については、平成26年度から「マイクロ波評価装置の研究試作」を実施し、マイクロ波パワーモジュールの高出力化と評価技術を中心とした周辺技術の研究を実施中。
- 小型及び中型の高出力マイクロ波については、平成27年度から「電磁パルス発生基礎技術の研究」を実施し、仮想陰極発振管、マルクス型高圧パルス電源装置等の研究を実施。

✓ 高出力レーザー及び高出力マイクロ波ともに、要素技術等の研究を実施中

高出力レーザー

- 大型高出力レーザーについて、米国はかつてヨウ素レーザーを用いたABL（航空機搭載型レーザーシステム）を実証していたが、その後モスボール化。続いてファイバーレーザーを光源とする中型プラットフォームで実運用検証した後、ファイバーレーザーを用いたSSL-TM（艦船搭載型レーザーシステム）の開発に着手。
- 小型高出力レーザーについて、欧米共にファイバーレーザーを用いた小型システムの確立を急いでいる状況であるが、車両一台で数10kWを運用できる段階は未到達。
- ファイバーレーザー6本を結合して33kWを得ているLaWSは、2014-2017末頃までペルシャ湾沖で実戦配備され、運用適合性に関する様々な試験を実施。

SSL-TM



出典：米海軍

LaWS



出典：米海軍

高出力マイクロ波

- 米国を中心に、ドローン（小型UAV）等の無力化を目的とした地上設置型の高出力マイクロ波発生装置(Raytheon社 Phaser等)や、人体に照射することで皮膚表面の温度を向上させる車両搭載型の高出力マイクロ波発生装置の開発・実証が進展しており、実用化段階にあるものと推測。
- 大型の電子管を用いた高出力マイクロ波発生装置については、GWクラスのもの既に実現されており、今後は民生技術の進展も踏まえて要素技術が成熟していくものと推測。
- 米国を中心に、誘導弾搭載型の高出力マイクロ波発生装置（CHAMP等）が研究開発されており、実用化に近い段階にあるものと推測。
- 民生分野においても、米国の大学で直径15cm、全長約1.5mの実装容量に電源を含む全コンポーネントを収容し、35MWの出力を得られる装置が実現されるなど、小型化に向けた要素技術が進展。

Phaser



出典：Raytheon社

CHAMP



出典：米空軍



参 考

高出力指向性エネルギー技術に
関する補足資料

高出力指向性エネルギー（高出力レーザー）の技術的進展

- レーザー加工分野からの進展により、高出力かつ高ビーム品質なレーザー光源が実現しつつあり、遠方の目標を破壊可能なシステムに現実味
- 米海軍において、小型無人機・小型船舶対処を目的としたレーザーシステムを2014年ペルシャ湾に展開し、運用評価を実施
- 米国のほか英国、独国、中国等においてもレーザーシステムの研究開発を実施しており、従来のシステムにはない瞬間対処性、低コスト性（高費用対効果）を有したゲーム・チェンジャーとして世界的にも注目
- 我が国においては世界有数のセラミックス、ファイバー、半導体といったレーザー媒質製造技術を保有。また、研究試作事業等において、目標追尾照準技術を確立

ペルシャ湾に展開されていた米海軍の艦艇搭載型システム（LaWS）



出典：米海軍HP

米陸軍の車両搭載型システム（HELMITT）



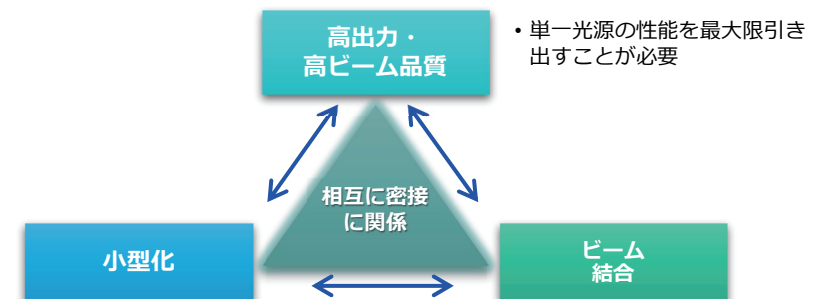
出典：米陸軍HP

今後の進展の方向性

- 航空機のステルス化、低高度を飛行する巡航ミサイル等、防空システムには短リアクションタイム性が求められる
- また、小型無人機、迫撃砲弾といった大量に投入される低価格な脅威に対しては、低コストな対処法を確立する必要がある
- 世界的に研究開発が実施されている高出力レーザー技術について、我が国独自の技術を実現すべく積極的な取組が必要
- レーザー兵器に対する防護技術に関しても、並行して研究を実施する必要あり

高出力レーザーの実現で鍵となる先進技術

- 装備品に足り得るレーザーシステム実現には、**高出力**、**高効率**かつ**高ビーム品質**と**小型化**を両立させる高度な独自技術が必要
- 特に、ビーム品質の低下を抑制しつつ**複数のビームを結合**する技術が特に重要となると予測
- 装備化に向けて取り扱いの考慮も必要



高出力指向性エネルギー（高出力マイクロ波）の技術的進展

- 高出力マイクロ波兵器について米国においては、EMP弾が実戦で使用されたとの報道や、無人機（CHAMP）の飛行試験に成功したとの報道があり、技術的には実用化段階と予測
- 国内では従来型のTWT※からminiTWTの開発によってアクティブ・フェーズドアレイ化による高出力マイクロ波発生技術の開発が進展

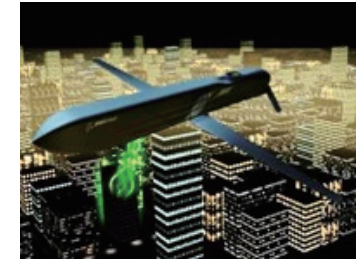
※ TWT: Traveling Wave Tube （進行波管）

Taurus KEPD 350巡航ミサイルの
高出力マイクロ波版



出典：iHS Jane's

無人機
（CHAMP）



出典：米空軍HP

今後の進展の方向性

- 近年の高出力マイクロ波発生技術の進展により、各種ミサイル等の経空脅威に対処する方法として、当該脅威に強力なマイクロ波を照射し、その誘導機能等を無力化させる高出力指向性エネルギー対処システムの実現性が急速に高まりつつある。高出力指向性エネルギー対処は、従来のミサイルや火炮による防護に対して、数の制約がなく、低コストである等の利点を有する。
- 高出力指向性エネルギー対処のための高出力マイクロ波を送信するためには、高い尖頭電力を送信可能な電力増幅モジュールが必要である。また、飛来する脅威に自在かつ瞬時に指向するためには、当該モジュールを用いたアクティブ・フェーズド・アレイ化が必要となる。各種プラットフォームに搭載するためには、電力増幅モジュールの小型高出力化が必須であるとともに、電磁環境を含めた運用環境、ペイロード、電源容量等の考慮が必要である。
- EMPに関しては、ミサイル等の弾体に搭載するための小型化と、EMP防護が施された電子機器への放射特性の把握が必要である。

高出力マイクロ波の実現で鍵となる先進技術

- 限られた搭載空間にて大電力送信を可能とするアクティブ・フェーズド・アレイの実現に必要な電力増幅モジュールの小型高出力化技術
- ビームマネジメントの実現に必要な電力増幅モジュールのアレイ化技術
- 各種プラットフォーム搭載環境及び電磁環境に対応可能な搭載環境対応技術
- マイクロ波照射効果の的確な評価技術の確立も重要
- 従来弾薬、精密誘導武器等による直接的な破壊によらず、対象のセンサー・情報システムの機能を一時的又は恒久的に無力化するEMP弾技術

