

次世代の電子戦について

— 機械学習とネットワークを活用した EMS 活動 —

天貝 崇樹

はじめに

米国国防科学委員会（Defense Science Board: DSB）は、2015 年、陸・海・空の 3 つの戦闘領域と衛星通信、戦術通信、位置航法時刻制御、情報・監視・偵察機能（Intelligence, Surveillance and Reconnaissance: ISR）の 4 つの戦闘支援分野における電子戦能力の不足を指摘した¹。また、2016 年、戦略予算評価センター（Center for Strategy and Budgetary Assessments: CSBA）からは電磁スペクトラム領域（ElectroMagnetic Spectrum: EMS）優位性回復のためのコンセプトとも位置付けられる *Winning the Airwaves* が発表された²。

これらの動きは、米国が EMS の活動に危機感を抱いていることを示しており、電子戦能力の不足により EMS の優位性を失ったとの結論に達した米国では、米国先進研究計画局（Defense Advanced Research Project Agency: DARPA）が、EMS の優位性を考慮した電子戦機器の開発を進行させている³。

EMS に関するコンセプトや機器の開発研究が多く進行しているなか、特に注目されるのは、人工知能（Artificial intelligence: AI）を用いた電子戦技術である。何故なら電子戦の最も重要な工程である信号識別を機械学習（Machine Learning: ML）によって強化することは、単なる電子戦能力の不足の解消に止まらず、大きな影響を陸・海・空の作戦行動に与える可能性があるからだ。

そこで本稿では、従来の電子戦の特性と開発されている電子戦機器の進展から、次世代の電子戦の形態について分析し、新しい形態が作戦に与える効果とその効果を拡大するための方策を考察する。

¹Defense Science Board, “*21st Century Military Operation in a Complex Electromagnetic Environment*,” July 2015.

² Bryan Clark and Mark Gunzinger, “*Winning The Airwaves*,” CSBA, 2015.

³ 電波関連任務統合装置（CONverged Collaborative Elements for RF Task Operation: CONCERTO）等。

1 従来の電子戦活動の限界

(1) 従来の電子戦機器とアルゴリズム

航空自衛隊の作戦機を含めた多くの軍用機にはレーダ警戒装置（Radar Warning Receiver: RWR）を始めとする電子戦機器が搭載されている。脅威となる追尾レーダやミサイル誘導に使用される照射レーダを感知して操縦者に警報を与える RWR（図 1 参照）や接近するミサイルの誘導装置を欺瞞するチャフやフレア（図 2 参照）を機外に放出する射出装置（Counter Measure Dispenser: CMD）は、ベトナム戦争時に米軍戦闘機に搭載され、その有効性が立証されたことで急速に汎用化が進んだ。

CMD や追尾レーダを欺瞞するレーダ妨害装置（Electronic Counter Measure: ECM）は、プラットフォームの安全を確保することを目的として開発された電子戦機器であり、自己防御装置（Self Protection Jammer :SPJ）と呼ばれている。今日、危険な地域や戦域を航行するためには SPJ が必要との認識は、広く浸透し、輸送機や救難機でも関連した装備品を搭載することが常識となりつつある。



図 1 V-22 オスプレイ等に搭載されている AN/APR-39A (V)2 の信号処理装置、受信装置、表示器、アンテナ等。

図 1 RWR の構成品

（出所）米グローバルセキュリティ HP から引用⁴

⁴ “RADAR WARNING RECEIVER (RWR) AN/APR-39A (V)2,” Global Security.org, www.globalsecurity.org/military/library/budget/fy2000/dotl-navy/00apr39.html.



図 2 C-130 から放出されるフレア
(出所) 英チャーミング・グループ HP から引用⁵

SPJ 以外の電子戦機器としては、通信妨害装置、捜索レーダに干渉する遠距離レーダ妨害措置（Stand Off Jammer）、電子戦環境を掌握するための電子戦支援装置（Electronic Warfare Support Measures: ESM）等があり、航空機のほかに、艦船や車両にも搭載され、陸・海・空の各軍でそれぞれの作戦に適応した電子戦が運用されている。

これらの電子戦機器の共通の特徴としては、収集された信号に基づいて作動が設定されている点あげられる。つまり、全ての電子戦機器は、追尾レーダや照射レーダといった脅威となるレーダ信号との照合を前提に設計されており、機能を発揮するためにはレーダ信号を蓄積したデータベース（以下「電子戦データ」という。）が不可欠となっている（図 3 参照）。

⁵ Chemring Group PLC, “Countermeasures,” www.chemring.co.uk/~media/Files/C/Chemring-V2/PDFs/Chemring-Countermeasures.pdf.

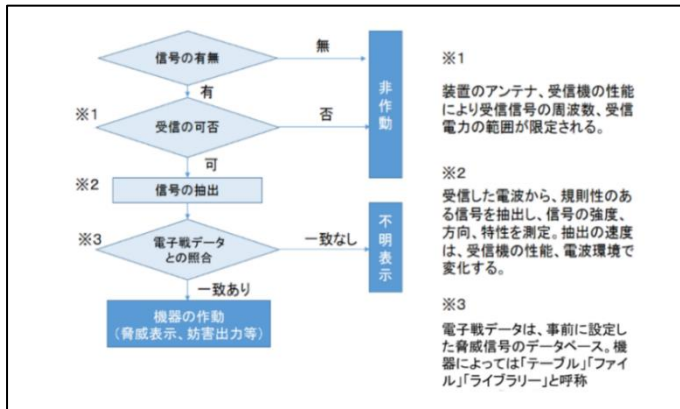
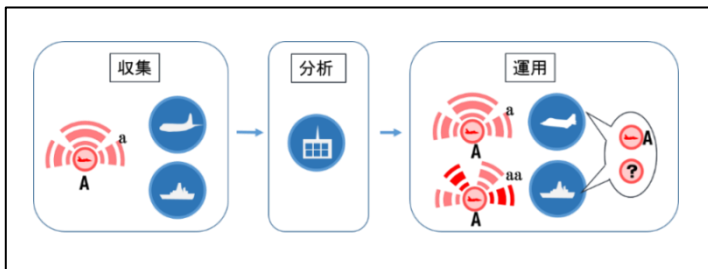


図 3 電子戦機器の作動シーケンス

(出所) 筆者作成

(2) レーダ及び通信の進化

前述したように電子戦機器は、探知した信号を電子戦データと照会することで脅威となるレーダ信号の有無を判定して運用されている。だが、脅威となる追尾レーダや照射レーダからの信号を受信したとしても、その信号があらかじめ電子戦データとして収集されていなければ、電子戦機器はその信号の発信源（エミッタ:Emitter）を脅威として判定することができない（図 4 参照）。



RWR（Radar Warning Receiver）や ESM（Electronic Support Measures）は、事前に収集された脅威信号と照合できた信号だけを脅威と判定する。

図 4 電子戦データの流れ

(出所) 筆者作成

現在、運用されている電子戦機器の多くが、最近の電子戦環境下で対応することが厳しい状況にあると考えられている⁶。

電波状況に応じて使用諸元を変更する適合型レーダ（Adaptive Radar: AR）や周波数を移動する周波数供用型のコグニティブ無線⁷等の技術が開発されたことで、事前に収集することのできない信号が頻繁に用いられるようになった。その帰結として更新が日単位で行われる電子戦データに依拠した従来型の電子戦機器では対応することができない状況を想定する必要が生じている。

こうした状況に加えて、信号そのものの受信が困難となっていることも電子戦支援（Electronic warfare Support: ES）や電子攻撃（Electronic Attack: EA）を窮地に追い込んでいる。レーダ及び通信する側は、対抗側に対して信号の抽出、あるいは電波源の位置特定を困難にするため、搬送周波数の拡散や指向性ビーム等の様々な手法を用いた低被傍受／探知確率（Low Probability of intercept: LPI）信号を利用することがある⁸。これら信号探知を困難にする技術の発達は、電子戦の前提となる信号の収集を阻んでいる。

（3）周波数の狭隘化

電子戦を含めた EMS の活動は、信号となるパルス電波⁹に搬送させて行われている。電波を利用するにあたり重要なのが電波の性質と密接な関係にある波長の長さ、つまり周波数である。周波数は有限な資源であると

⁶ Sally Cole, “Cognitive electronic warfare: Countering threats posed by adaptive radars,” *Military Embedded Systems*, January 31, 2017, mil-embedded.com/articles/cognitive-electronic-warfare-countering-threats-posed-by-adaptive-radars/.

⁷ コグニティブ無線には、ネットワークを切り替えるヘテロジニアス型と周波数供用型に区分される。NICT（National Institute of Information and Communications Technology :情報通信研究機構）では、2010年に後者の基礎試作に成功している。「周波数供用型無線通信システムの基礎試作に成功」情報通信研究機構、2010年5月7日、www.nict.go.jp/press/2009/05/07.html。

⁸ デビッド・アダミー『電子戦の技術（通信電子戦編）』河東晴子他訳、東京電機大学出版局、2015年、177頁。

デビッド・アダミー『電子戦の技術（基礎編）』河東晴子他訳、東京電機大学出版局、2013年、131-151頁。

⁹ 電界（電場）と磁界（磁場）を発生させながら空間を伝播する電磁波の一種である。日本では電波法（昭和25年法律第131号）第2条に基づき、300万MHz以下の周波数の電磁波が「電波」と定義され、使用の承認等が行われている。

の認識は、古くから各国で共有されており、国際電気通信連合（International Telecommunication Union: ITU）¹⁰での決定等に基づき、各国の無線通信主管庁が、軍用も含めた行政サービス用や民間の事業用の周波数について用途等を付して管理している。

図 5 は、米国における周波数の割り当てを示したものであるが、一般の電子機器の発達により、電波を利用する機器が増大したため非常に細かく区分されていることを容易に読み解くことができよう¹¹。

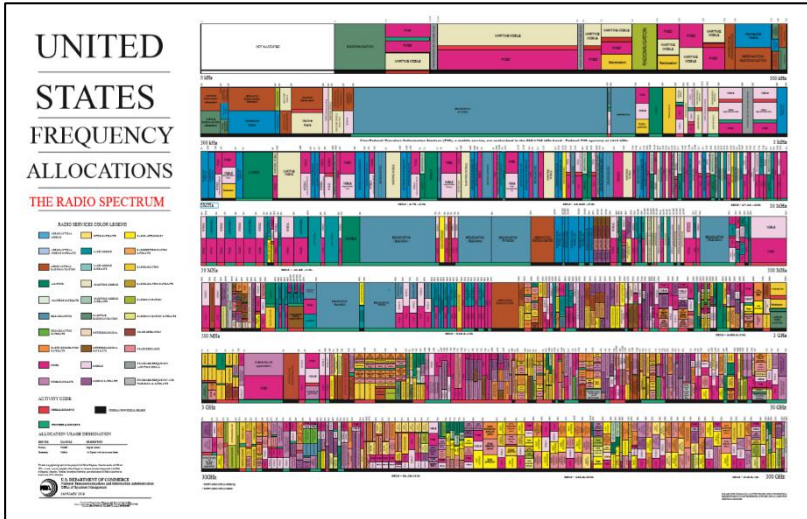


図 5 米国の周波数割り当て表

（出所）米国電気通信情報庁 HP から引用¹²

電波を利用する電子機器の増加は、周波数の狭隘化及び各種信号の飛躍的増大をもたらし、周波数、すなわちチャンネルの使用制限や負荷の増大等の影響を電子戦機器に与えている。電子戦機器は脅威信号を識別するにあたって、事前に設定した周波数帯を走査して、自機に到来する全ての信号の抽出を行い電子戦データと照合する。そのため、信号が多ければ多い

¹⁰ 通信の国際接続の促進を目的として 1865 年に設立された国際機関。周波数と衛星軌道の指定、技術標準の開発等を行う。

¹¹ 金子めぐみ「将来の無線アクセスネットワーク」国立情報学研究所 HP、2018 年 10 月 24 日、www.nii.ac.jp/event/upload/shimin_kaneko_20181024.pdf。

¹² www.ntia.doc.gov/files/ntia/publications/january_2016_spectrum_wall_chart.pdf。

ほど信号の抽出に負荷がかかり、運用者が電子戦機器の判定によって行動に移すまでの時間を圧迫することになる。有事の際、日本周辺において 5000 万個に及ぶ電磁パルスが 1 秒間に飛び交うものとの試算もあり¹³、電子戦機器が正常に作動する条件として、高速かつ大量の信号を分析できる処理能力も必要とされている。

2 電子戦技術の開発と進展

電子戦機器がその役割を果たすためには、厳しい環境や機器の進化を踏まえ、かつデータベースのみに依拠しない電子戦のアルゴリズムの確立が求められる。そうした認識に基づいた技術の開発が、既に始められている。

(1) ML による新しい識別のアルゴリズム

BAE Systems 社（以下「BAE 社」という。）の無線・電子戦及び先進電子技術製品ライン・ディレクターであるラッパ（Rappa）は、ML に信号の波形を分析・学習させることで、レーダや通信機の型式に加えて製造工程で生じる品質のバラつきを特徴づけて個体の判別も可能になると予測している。こうした予測の下、電波指紋と呼ばれるアンテナ等の個体差を認識するための研究が DARPA で進められている¹⁴。また、DARPA では、新しい識別技術を確立するため、ML のアルゴリズムを使用してリアルタイムでレーダと通信のエミッタを評価・特定する研究が行われている¹⁵。

DARPA で行われている対適応型レーダ装置（Adaptive Radar Countermeasure: ARC）¹⁶の研究も「リアルタイムに信号を生成する未知

¹³ 新見昌武「実力とは 8 レーダー警報装置（RWR）その 1」『エアワールド』2004 年 11 月号、118-121 頁。

¹⁴ Charlotte Adams, “Cognitive Electronic Warfare: Radio Frequency Spectrum Meets Machine Learning,” *AVIONICS INTERNATIONAL*, August/September 2018, interactive.aviationtoday.com/avionicsmagazine/august-september-2018/cognitive-electronic-warfare-radio-frequency-spectrum-meets-machine-learning/.

¹⁵ Ameer Sameer Hamood, “Cognitive Electronic Warfare System,” University of Babylon, October 2016, www.researchgate.net/publication/309292171_Cognitive_Electronic_Warfare_System.

¹⁶ ML を用いて DARPA が行っている研究。BAE 社が支援。

の適応型レーダに対して妨害を自動的に実行する」ことが目的として掲げられ、同様に ML のアルゴリズムが用いられている。

こうした ML を識別に用いた電子戦は、コグニティブ EW (Cognitive Electronic Warfare) と呼ばれている。ML による信号識別については、図 6 のように対象信号の諸元（周波数）変更と低信号対雑音比の条件下で確度 95%以上の成果が得られたことが 2017 年の AOC¹⁷の年次総会で発表されている¹⁸。

Case	Training score	Test score	Comment
Clean Signals	99.4%	99.4%	Ideal signal with high SNR
Frequency Offset	98.1%	97.9%	Frequency offset + high SNR
Low SNR	97.5%	97.6%	Low SNR
Offset + low SNR	95.8%	95.7%	Combined

1 行目は雑音なし、周波数の変更なしの条件での試験結果（99.4%）、2 行目は周波数変更を条件した場合の試験結果（97.9%）、3 行目は低信号対雑音比を条件とした場合の試験結果（97.6%）、4 行目はそれらを複合した条件での試験結果（95.7%）

図 6 各種データで訓練した場合の試験結果
(出所)『防衛技術ジャーナル』2018 年 11 月号から引用¹⁹

(2) 携帯型戦術センサ

携帯型戦術センサは、監視システム解析向上 (Computational Leverage Against Surveillance Systems : CLASS) 計画の下、DARPA と BAE 社によって開発された装備品である。地上戦闘員にレーダや通信機の位置等の EMS に関わる状況を理解させることを目的としており、広帯域かつ変化する電波環境下において、対抗側の妨害装置や通信等の信号を迅速に探知してエミッタの位置特定を行う能力を保有している。同センサはコグニティブ EW ネットワーク (Cognitive Networked Electronic Warfare : CNEW) と名付けられたシステムと接続して、信号の学習、最適化、推定

¹⁷ Association of Old Crows。世界 47 か国の 13,500 人余の産官学の会員から構成される電子戦技術の学会（協会）で、本部は、米ワシントン DC。米国、欧州、豪州、日本など 20 か国に支部がある。

¹⁸ 防衛技術協会防衛用電子戦レーダ研究部会「2017 年 AOC 年次シンポジウムから見た電子戦の動向 (II)」『防衛技術ジャーナル』2018 年 11 月号、58-63 頁。

¹⁹ 電子戦研究部会「2017 年電子戦動向 (II)」59 頁。原図は、2017 年 AOC 年次総会における Mr.Marty Mosier の講演 “Innovations in Artificial Intelligence and Machine Learning”。

と検証を行うほか、地形や位置関係を解析して被妨害の影響を局減するための活用が可能とされている²⁰（図 7 参照）。



地上戦闘における電子戦に関わる状況認識向上のために開発された。

図 7 携帯型戦術センサ

（出所）米リサーチゲート HP から引用²¹

(3) CONCERTO

無人航空機（Unmanned Air Vehicle: UAV）を利用した電子戦システムの開発も進行している。電波関連任務統合装置（CONverged Collaborative Elements for RF Task Operation: CONCERTO）は、電子戦、通信・レーダ（センサ）の複数任務を担う多機能無人機システムである²²（図 8、図 9 参照）。

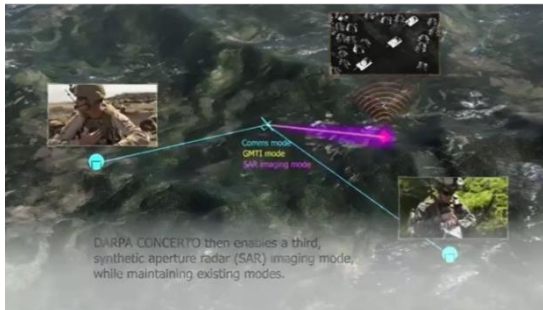
CONCERTO は、これまで個別に設計、調達されていた、通信、レーダ、電子戦の機器を一つの機器に集約して同等の能力を持たせるように設計が行われている。また、脅威レーダの変化に合わせて、迅速に改修できるように UAV 等のハードウェアから切り離れた開発が進められている²³。

²⁰ Hamood, “Cognitive Electronic Warfare System.”

²¹ Ibid.

²² George I. Seffers, “Unleashing Radio Frequency Power,” *SIGNAL*, June 21, 2017, www.afcea.org/content/Article-unleashing-radio-frequency-power.

²³ John Keller, “DARPA hires three companies for blended RF system to reduce size and ease technology insertion aboard UAVs,” *Military Aerospace Electronics*, June 11, 2019, www.militaryaerospace.com/rf-analog/article/14034822/blended-rf-system-uavs-technology-insertion, accessed November 27, 2019.



図中央付近の無人機（水色）が、対抗側のレーダ（赤紫）を監視すると同時に通信、戦闘支援の任務を担う。

図 8 CONCERTO の運用例

（出所）ユーチューブから引用²⁴



図 9 CONCERTO に使用されている無人機

（出所）軍通信電子機器協会 HP から引用²⁵

(4) Dash-X

現在、米海軍とノースロップグラマン（Northrop Grumman）社は、Remedy 計画との名称で電子戦機 EA-18G グラウラーとネットワークを構成する UAV で電子的な偵察の研究を行なっている。

同計画では、VX エアロスペース（VX Aerospace）社が開発した UAV・Dash-X を多数投入し、EA-18G に先行させて危険な空域における信号の収

²⁴ “CONCERTO Concept of Operations,” June 5, 2017, www.youtube.com/watch?v=kC6oDKIUU_.

²⁵ Seffers, “Unleashing Radio Frequency Power.”

集、SAM 等のプラットフォームの位置特定と妨害、データリンクによる情報伝達を可能とするシステムの構築を目指している。Dash-X は、地上からの発射によって各種試験を行っている段階にあるが、最終的には主翼下に専用の投下装置を設置した EA-18G または FA-18E/F から射出して、任務に供される。同 UAV は低速度で飛行し、また 10 時間以上の滞空が可能とされている²⁶（図 10 参照）。



左図のような形態で航空機に搭載され、滞空中は右図のように翼を広げる。

図 10 格納時の状態と飛行形態の Dash-X

（出所）C4ISR ネット HP から引用²⁷

3 次世代の電子戦の形態について

以上のように UAV、ネットワーク、AI による識別アルゴリズム等を用いて、従来とは違った形態の電子戦が模索されている現在、EMS に関して、その活動と認識を大幅に見直す時期に来ているといえよう。こうした手法や技術を用いる電子戦を次世代の形態と位置づけて、それに関する分析を以下に述べる。

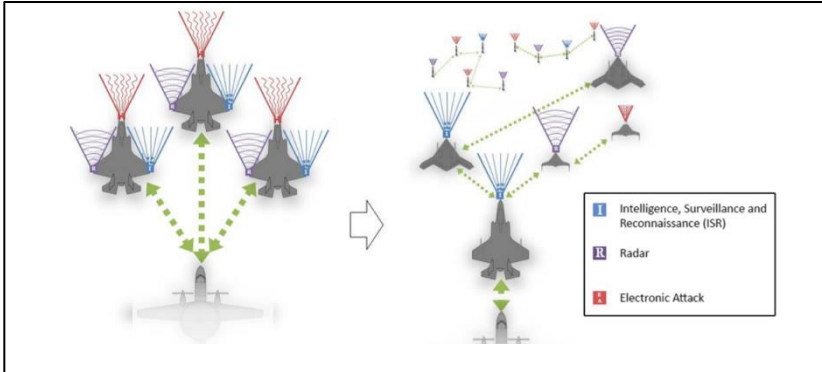
(1) ネットワークの電子戦・コグニティブ EW

図 11 は、プラットフォームに必要な機器を搭載した従来の電子戦から今後のネットワーク化された電子戦への変化を図示したものである。ネットワークを用いることの意義を考察すると、その利点を二つあげることができる。一つは、各センサの情報を統合することが可能となること。これにより、今まで断片に過ぎなかった判別不明のエミッタでも位置特定に関

²⁶ Grant Turnbull, “The Navy plans to test its new electronic warfare drones this fall,” C4ISRnet, February 19, 2019, www.c4isrnet.com/electronic-warfare/2019/02/19/the-navy-plans-to-test-its-new-electronic-warfare-drones-this-fall/.

²⁷ Ibid.

しての精度向上が期待できる。また、ネットワークに電子戦データの迅速な更新とその共有を可能とするシステムを並行して構築するならば、確度の高い識別も高速で実現できるようになるだろう。このネットワーク化にあたり、枢要な機能となるのが ML による識別技術である。



プラットフォーム毎に、パッシブ・ISR（青）、レーダ索敵（紫）、EA（赤）の機能を保有していたが、無人機を含めて機能を分散させることが予想される。

図 11 従来型の電子戦（左）と今後の電子戦（右）

（出所）米戦略予算評価センターHP から引用²⁸

BAE 社の技術ディレクター、トランキリィ（John Tranquilli）によると、コグニティブ EW は、専門家の知見とネットワーク化した監視システムの情報を併せて、妨害方法を決定するように設計されているという²⁹。コグニティブ EW において AI は、電子戦データとの照合、機器の作動といったプラットフォームに搭載された機器ごとに運用されていた行程を、ネットワークによって迅速かつ正確に実行することを期待されているのである。

ネットワーク化することのもう一つの利点は、（パッシブ）センサ、レーダ、ジャマー（Jammer）、シューター、ネットワーク統制の各機能を端末に割当てその役割を限定することで、端末を簡素化できることである。各機能を担う端末の簡素化は、複数の機能を担う有人プラットフォームに比

²⁸ Bryan Clark and Jesse Sloman, “Winning in The Gray Zone,” CSBA, 2017, p. 38.

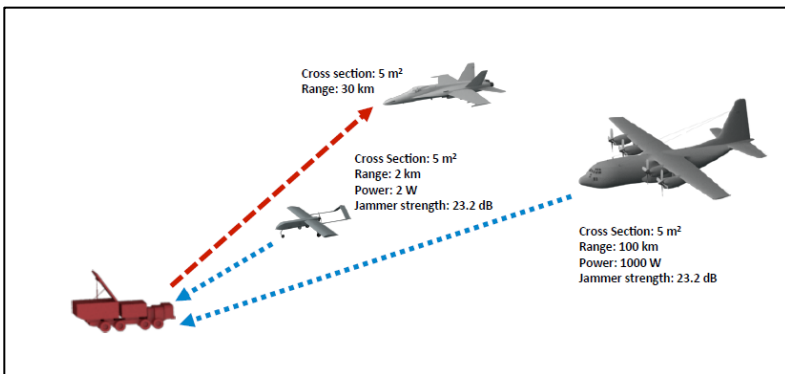
²⁹ Cole, “Cognitive electronic warfare.”

べて開発や更新に関わる制約条件を少なくすることができる。つまり、状況が変化した際に対応するのまでの時間を大幅に圧縮することが見込めるのである³⁰。

(2) UAV 等による探知と妨害

ネットワーク化された電子戦の運用に UAV や無人航走体（Unmanned Surface Vehicles: USV）等（以下「UAV 等」という。）の活用は、必須であると考えられる。それは、指向性のあるアンテナや探知困難な LPI 化した信号を運用する高度かつ複雑な防空網に対抗するには、レーダ及び SAM の位置の掌握とそれに対する妨害が不可欠であり、その達成には、センサ及びジャマーを対象に接近させることが必要条件となるからだ。

UAV に搭載可能な出力に制限のある機器でも、適切な位置に機動することができれば、省電力で大型機と同等の効果を得るジャマーとして活用することができる（図 12 参照）。EA による妨害効果は、妨害信号の出力の大きさだけでなく、対象との距離や彼我の位置関係も影響する。SAM 等の対空火器を多数配置した対抗側の防空能力を EA によって減殺するのにセンサと火器の数に応じたジャマーを必要とすることを考えれば、UAV 等の利用は費用対効果の観点から正しい選択といえるだろう。



無人機による近接妨害（Stand in Jam）と大型機による遠距離妨害（Stand Off Jam）の効果と同程度であることを表している。

図 12 ジャマーのタイプと出力の比較

（出所）米戦略予算評価センターHP から引用³¹

³⁰ Clark and Sloman, “*Winning in The Gray Zone*,” p. 38.

³¹ Ibid., p. 35.

人的な損耗を許容するならばベトナム戦争時のウィーゼル（Wild Weasel）のようにセンサとシューターを兼ねる有人プラットフォームを選択して対抗することもあり得るが³²、ネットワーク化された UAV 等によってその機能を果たすことが可能と見込まれている今日において、有人プラットフォームに固執する理由は失われている。対抗側の支配する空域への侵入等の危険を伴う任務には、ISR と電子攻撃を担う UAV 等を用いたネットワークを構成しリスクの軽減を計るのが妥当な選択である。さらに UAV 等であれば体積を局限し、レーダ有効反射面積（Radar Cross Ratio: RCS）も小さくすることも可能であることから、被探知の確率も低くなり、企図を秘匿する上でも有利といえよう。

4 次世代の電子戦が与える効果とその拡大

陸・海・空のほとんどの作戦において、通信やレーダ等の EMS に関する活動が行われていることから、電子戦がネットワークと ML を駆使する新しい形態に移行することの影響を受けることが予想される。EMS の攻防における特質を鑑みて、各種作戦に与えるその可能性等について考察する。

(1) EMS の優位性と目標選定

ア EMS における優位性を目指して

EMS の攻防を簡潔に述べると EA 側は対抗側の使用する周波数と位置を探索し、ジャマーを的確な位置に占位させ妨害信号を出力し、対抗側のレーダによる探索と追尾、データリンクを含めた無線通信を妨害する。一方、対抗側は妨害信号や EA 側の EMS 活動を察知して、被妨害の影響を減ずるため運用周波数の移行、センサ（レーダ）とアンテナの移動等の対応をとる。EA 側と対抗側の EMS の行動は、時として立場を入れ替え、EMS に関する機能を失うか、その必要がなくなるまで反復して行われる。

こうした EMS の攻防において、その優位性を決定する要素がいくつか考えられる。それは、① センサとアンテナ、ジャマーの数と配置、② 使

³² 1965 年、米軍は北ベトナムの SAM の脅威に対処するため F-100F スーパーセイバーにレーダ探知警戒装置（Homing And Warning System: RHAWs）を搭載し、対レーダ・ミサイル AGM-45 シュライクによる敵防空網制圧（Suppression of Enemy Air Defence: SEAD）の任務を与えた。ロバート・F・ドール『ベトナム航空戦』難波皎訳、大日本絵画、1990 年、59-61 頁。

用可能な周波数の幅（チャンネルと帯域）、信号出力の大小、③ それらを運用する速度である。2015 年に米国の電子戦能力の不足を指摘した DSB の報告では、俊敏性を EMS における優位性回復の要件の一つとしてあげており³³、また、BAE 社技術開発マネージャー、ラピア（Randall Lapierre）は開発中の CONCERTO に関して、「防衛網への侵入、作戦の遂行には、俊敏性が重要である」と語っている³⁴。こうした見解に基づき電子戦の運用に速度の追求が不可欠との認識に立てば、信号識別に ML が導入されるのは必然の流れといえるだろう。

イ 電子状況認識（ESA）による EMS の管理

作戦行動において、EMS における優位性は、対抗側のレーダ運用及び通信等の EMS に関する活動の拒否を意味する。言い換えるならば EMS の優位性の喪失によって、行動に大きな制限が課せられるのである。その EMS の優位性を確立するために、必要と考えられるのが、電子状況認識（Electronic Situation Awareness: ESA）である³⁵。

ESA とは、適切な EA、あるいは電子防御（Electronic Protection: EP）を行うため、空中及び地表（水上）のプラットフォームの位置及び EMS の状況をリアルタイムに把握することである。

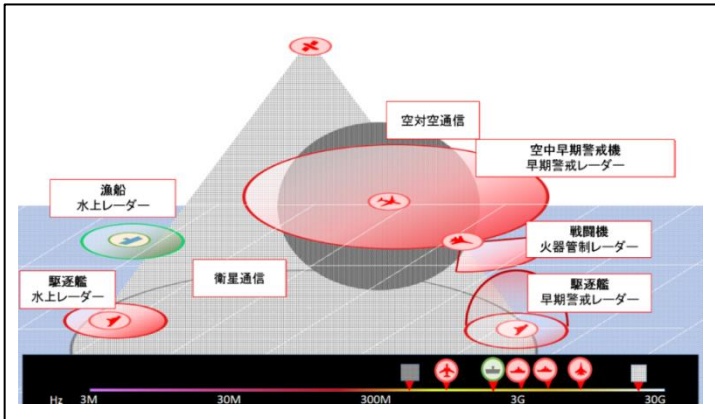
現在、図 13 のように ESA を共通作戦図（Common Operational Picture: COP）に準えた形で表示できる技術が確立されているかは不明である。しかし、可視化された ESA を共有することができれば、作戦域全体において、全てのエミッタを友軍や対抗側、中立に分類したうえで EMS に関する活動の把握と理解が容易となる。こうした ESA に、ユーザー・フレンドリー³⁶なインターフェイス機能を充実させることで、各プラットフォームの EA や EP のみならず、EMS に関する活動全般をより迅速かつ的確に行うことが可能となり、妨害の実施や被妨害に対する回避、狭隘な周波数環境下における通信やレーダの運用を統制する周波数管理に資することができると考えられる。

³³ DSB, “21st Century Military Operation,” p. 5.

³⁴ Tammy Waitt, “DARPA Tech to Improve UAS Adaptability & Mission Efficiency,” American Security Today, June 5, 2017, americansecuritytoday.com/darpa-tech-improve-uas-adaptability-mission-efficiency/.

³⁵ Hamood, “Cognitive Electronic Warfare System.”

³⁶ ユーザー・インターフェイスの設計思想のひとつで、コンピューターなどが使いやすい状態のこと。画面やアイコンの操作手順などを表示して入力しやすさを工夫し、コンピューターの操作をわかりやすくする方法がある。（ASCII.jp デジタル用語辞典による。 <http://yougo.ascii.jp/caltar/> ユーザーフレンドリー。）



プラットフォームの位置及び電波の使用状況（下部の黒の部分）を可視化することで、迅速な周波数運用が可能と見込まれる。

図 13 ESA のイメージ

（出所）筆者作成

米海軍が掲げるリアルタイム・スペクトラム作戦（Real Time Spectrum Operation: RTSO）³⁷の実現にあたって、ESA と同様の機能は必須といえる。

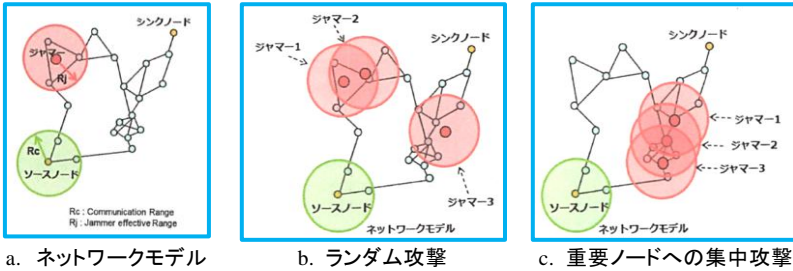
ウ ESA による重要ノードの解析と目標選定

こうした ESA は、対抗側の EMS に関する活動だけでなく、作戦能力そのものを低下させるにも有為と考えられる。

現在、図 14 のように通信ネットワークに対して、結節点となるノードを攻撃して、効率的にシステムを攻略する研究が進められている³⁸。ESA によって、対抗側の通信ネットワークを解析することができれば、こうした研究成果を用いて効率的な攻撃を選択することも可能になるだろう。通信ノードあるいは指揮通信システムの攻略に際し、アセット全般を統括する権限があるのであれば、手段として EA とサイバー、物理的な攻撃を組み合わせて、攻略をさらに効率的に行うことも期待することができる。

³⁷ ソフトウェアによる周波数干渉の回避、周波数の使用状況掌握、電磁波環境の観察による EMS の活動。Mark Johnson, “Real-Time Spectrum Operations,” National Spectrum Management Association 2019 Conference, 2019, nsma.org/conferences/nsma-presentations-2019/.

³⁸ 防衛技術協会防衛用電子戦レーダ研究部会「2016 年 AOC 年次シンポジウムから見た電子戦の動向（Ⅱ）」『防衛技術ジャーナル』2017 年 11 月号、48-49 頁。



a. ネットワークモデル b. ランダム攻撃 c. 重要ノードへの集中攻撃

ジャマーの妨害効果範囲（赤）がノードの通信範囲（緑）に比べて著しく狭い場合には、a. ネットワーク（左）に対する攻撃方法としては、b. ランダム攻撃（中）より c. 重要ノードへの集中攻撃（右）を選択した方が高い効果を得られる。

図 14 ネットワークに対する攻撃モデル

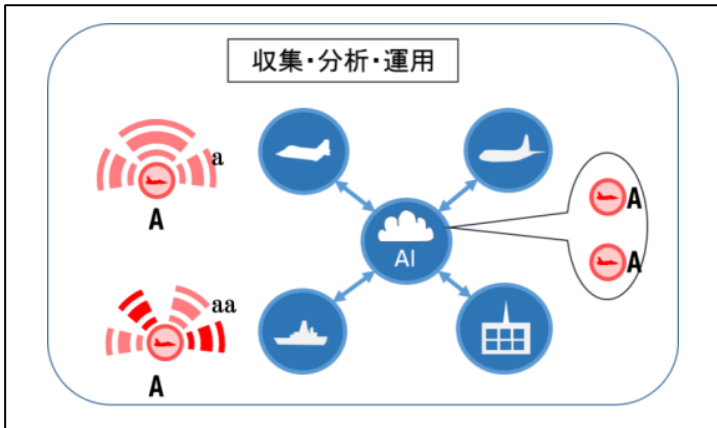
（出所）『防衛技術ジャーナル』から引用³⁹

(2) 関連機能の集約と見直し

ネットワークによるセンサ収集信号の統合と ML による識別を行うコグニティブ EW では、SIGINT (SIGnal INTelligent)、ESM や RWR のデータ管理など、電子戦の収集から分析、運用にいたる電子戦の一連のプロセスをほぼ同時並行的に行うことが可能と考えられている⁴⁰。現在行われている電子戦が、収集から運用に至るまで、日単位の時間を必要とするのに対して、コグニティブ EW では秒単位で運用に供することが期待されている（図 15 参照）。

³⁹ 防衛技術協会防衛用電子戦レーダ研究部会「2016 年 AOC 年次シンポジウムから見た電子戦の動向（II）」、48-49 頁。原図は 2016 年 AOC 年次シンポジウムにおける Dr. Haruko Kawahigashi の講演“Effect of Jammer Location in Wireless Networks”。

⁴⁰ Hamood, “Cognitive Electronic Warfare System.”



各センサで探知した信号は、ネットワークによって瞬時に共有される。信号「aa」が初度探知信号だとしても、ネットワークによってエミッタが「A」と識別される。

図 15 コグニティブ EW のイメージ

(出所) 筆者作成

電子戦データは、作戦を実行するプラットフォーム単体で利用されてきたが、コグニティブ EW では、データの共有を想定していることから、陸・海・空の関連部隊によるデータの共有や作戦指揮官あるいは司令部を含めてのネットワーク設計も考えられる。また、レーダ、光学、赤外線による収集情報に、収集信号の解析による ESA を加えることができるのであれば、目標選定の確実性が高まることが予想される。こうして、目標を柔軟に選択する態勢を整えることで、目標に対して効率的に最適のプラットフォームを指向することが可能となり、人員や器材の損失や危険を最小にとどめることができるようになるだろう。

このような効率的な作戦の実施に当たっては、C4（指揮・統制・通信・電算機）と ISR、作戦運用を担う部署間の連携が極めて重要になると考えられる。EMS における作戦活動の効果を拡大するにあたり、米国統合参謀本部内の第 2 部（情報部門）、第 3 部（作戦部門）、第 6 部（C4 部門）の組織的障壁が今後の課題という指摘がなされていることから⁴¹、今後の

⁴¹防衛技術協会防衛用電子戦・レーダ研究会「2016 年 AOC 第 53 回年次シンポジウム調査報告」2017 年 6 月、47 頁。

コグニティブ EW の進展に合わせて、陸・海・空の電子戦関連部隊の任務及び作戦指揮の権限の再構築も視野に入れる必要があると料する。

おわりに

ベトナム戦争時、プラットフォームに対する脅威の排除を主たる目的として RWR や CMD、ジャマーが導入され今日まで続く電子戦のシステムが形成されたが、電子技術の進歩等によりその効果を失った電子戦は大きな転換点を迎えている。次世代の電子戦を想定して様々な機器や形態が開発されているが、その中でも ML とネットワークを活用したコグニティブ EW が大きな役割を果たすものと予想する。

1998 年、当時アメリカ海軍中将であったセブロフスキー（Cebrowski）が提唱した「ネットワーク中心の戦い（Network Centric Warfare: NCW）」は、国や軍種を超えて普遍化し、ネットワーク化された戦闘力は、もはや目新しいものではなくなっている⁴²。今後は、NCW におけるセンサ、意思決定者、シューターの意味を理解した上で、戦闘力の維持と減殺を目的としたネットワークの攻防にも焦点があてられるだろう。そうした意味において EMS における彼我の活動の把握を目的としたコグニティブ EW は、電子戦やネットワークのみならず作戦全体に大きな影響を及ぼすと考えられる。ただし、解決すべき課題が多くあり、実現にはしばらくの時間を必要としている。

今後ネットワークの攻防は、EMS における活動の速度によって競われるものと推定される。EMS の優位性がミリ秒、あるいはそれ以下の単位で競われるようになった場合、電子戦データの更新サイクルが日単位である従来の電子戦機器では、対抗する余地はない。自衛隊が、陸・海・空の各領域において対抗する勢力と対峙し、その実力を発揮するには、EMS の活動によって保証された領域横断のネットワークを確立し、情報認識の共有と迅速な作戦実行の態勢が不可欠である。防衛省は、EMS の攻防が短時間でされることを認識した上で、次世代の電子戦について明確な方向性を定める必要があると料する。

⁴² Arthur K. Cebrowski, “Network-Centric Warfare: Its Origin and Future,” January 1998, 以下の URL で閲覧可能。
pdfs.semanticscholar.org/1c8d/70a1abf6764cd308427e505124637dfd193a.pdf.