

第2章 新興技術がアジア太平洋地域の戦略環境にもたらす影響について 我が国の視点を中心として

藤田 元信

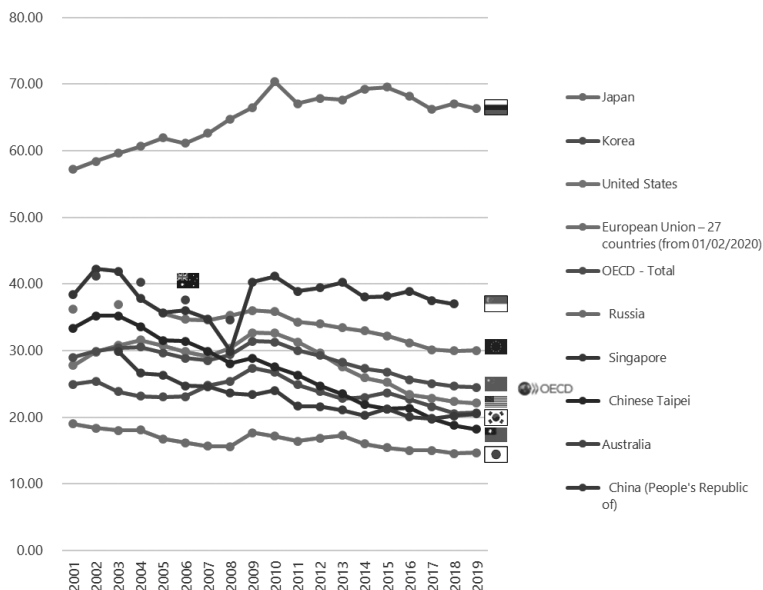
1. はじめに

近年、我が国を含む各国において、新興技術（エマージング・テクノロジー）への投資が活発化している。新興技術への投資は研究開発への投資を通じて行われる。研究開発とは、OECD の定義によれば、「知識－人類、文化、及び社会についての知識を含む－の蓄積を増大するために、並びに利用可能な知識の新たな応用を考案するために行われる、創造的であり体系的な作業からなる。」とされている¹。また、研究開発投資とは、米大統領府予算管理局の定義によれば、「知識の蓄積及びその知識の利用のために行われる創造的であり体系的な作業及び新規または改良製品及びプロセスの考案であって、国家の経済的な生産能力またはその他将来の効用を維持するまたは増大することが期待されるもの、を支援するための全ての支出」とされている²。

民間においては、研究開発に対する投資額は年々増加しており、2018年には、グローバルなイノベーションを主導するトップ1,000社だけで、研究開発に対し7,820億ドル（約86兆円）もの投資が行われた³。これらの企業においては、収益も増加しており、多くの企業が、研究開発への投資を、将来の競争力の源泉と位置づけていることが分かる。

一方、総国内研究開発支出額に占める政府の支出額の割合は、多くの国々で徐々に低下しているものの、OECD 各国の平均値は約25%である⁴。日本に関しては、15%程度で安定的に推移している。これらのことから、政府は、研究開発投資において、支配的ではないものの、依然として主要なプレイヤーであると考えられる。

図 1: 各国における研究開発支出に占める政府負担額の割合



政治、経済、軍事にわたる国家間競争の手段には、軍事的手段のみならず、様々なものが存在する。技術は、平時においても、また、戦時においても、常に国際政治において中心的な役割を果たしてきた⁵。技術への投資は、軍事的な能力（ケイパビリティ）の構築につながるが、全ての技術分野に等しく、十分な投資をすることは現実的でない。そのため、いずれの国も、技術への投資に軽重をつける必要性に迫られる。したがって、技術への投資は、国家としての意思表示と考えることができる⁶。

本報告では、新興技術への投資がアジア太平洋地域の戦略環境にもたらす影響について、我が国の視点を明らかにすることを試みる。

2. 本報告における新興技術の定義

新興技術については、様々な定義が試みられているが、明確かつ安定した定義は存在しない⁷。単に、萌芽（ぼうが）段階にある技術のことを指す⁸、という考え方もあれば、輸出管理の観点からの重要性に注目した考え方⁹、経済的なインパクトに注目した考え方¹⁰、新たな応用分野への波及プロセスに着目した考え方¹¹もあり多様である。例えば、米国の2020会計年度国防授權法第232条では、新興技術について、「国防長官によって開発の新たな段階にあると判断された技術であり、量子コンピューティング、大規模で多様なデータセットの分析のための技術（一般に「ビッグデータ分析」として知られている）、人工知能、自律技術、ロボティクス、指向性エネルギー、極超音速、バイオテクノロジー、および国防長官により識別されたその他の技術を含む」と定義されている¹²。本報告では、技術がもたらす安全保障環境へのインパクトに注目し、新興技術を、DOTMLPF¹³、すなわち、ドクトリン、組織、訓練、資材、リーダーシップ、人材、施設の全てにわたり影響を与えうる技術と定義することとする。

3. “Strategies to Tasks” フレームワーク¹⁴

新興技術が戦略環境にもたらすインパクトを考察するために、視点を明確にする必要がある。ランド研究所で開発された“Strategies to Tasks”（戦略からタスクへ）フレームワークは、国家安全保障上の目的から始まり、軍事的タスクの目的に至る、一連の目的の対応関係を明確にする。具体的には、国家安全保障上の目的と国家の軍事的な目的、国家の軍事的な目的と戦役の目的、戦役の目的と作戦の目的、作戦の目的と軍事的タスクの4ステップからなる。こうしたアプローチは、特定の組織の目的やタスクへの偏りを避け、目的と目的の間に一貫性をもたらす。

長い間、研究開発は、軍事的タスクを効率よく実現するための手段を創製するものと考えられてきた。冷戦期までは、国家安全保障上のゴールは明確であり、防衛分野の科学者や技術者は、文書化された明確な要求仕様に沿って研究開発を推進することが比較的容易であった^{15,16}。しかし、安全保障環境の変化が加

速している現在、将来の戦い方の予測には常に不確実性が伴う^{17, 18}。そのため、新たな装備への要求仕様を具体化することは以前ほど簡単でなく、科学者や技術者は、Strategies to Tasks フレームワークの複数の階層を意識しながら、研究開発に取り組む必要が出てきた。

本報告では、Strategies to Tasks を参考とし、新興技術が戦略環境にもたらすインパクトを幅広い視点から分析する。

4. 防衛省における基本的な装備政策及び技術政策

防衛取得には、研究段階から装備の調達、維持、運用に至るまで、長い期間が伴う。計画的な人員配置、投資から回収まで長い期間を要する設備投資を計画的に行うためには、予見性が欠かせない。そのため、防衛省は、装備政策及び技術政策の基本的な方向性を明らかにするため、防衛生産・技術基盤戦略¹⁹を2014年6月に、技術力強化の基本的な方向性を明らかにするため、防衛技術戦略²⁰を2016年8月にそれぞれ公表している。

本稿では、これらの戦略文書のうち、特に、新興技術への取組への言及に着目し、我が国の基本的な視点を説明する。

（ア）防衛生産・技術基盤戦略¹⁹

防衛生産・技術基盤戦略は、1970（昭和45）年に策定された装備の生産及び開発に関する基本方針等²¹（いわゆる「国産化方針」）に代わるものとして、防衛生産・技術基盤の維持・強化の方向性を新たに示すために策定された。同戦略の目標・意義は、

1. 安全保障の主体性の確保
2. 抑止力向上への潜在的な寄与及びバーゲニングパワーの維持・向上
3. 先端技術による国内産業高度化への寄与

の3点とされている。

同戦略の特徴として、防衛生産・技術基盤の維持・強化を効果的・効率的に行う観点から、装備品の取得に関して、①国内開発、②国際共同開発・生産、③ライセンス生産、④民生品の活用及び⑤輸入を基本的な選択肢として、防衛装備品の特性に応じた最適な方法を選択する方針となったことが挙げられる。また、そのための諸施策のうち、研究開発に係る具体的な施策として、①研究開発ビジョンの策定、②民生先端技術も含めた技術調査能力の向上、③大学や研究機関との連携強化、④デュアル・ユース技術を含む研究開発プログラムとの連携・活用、⑤防衛用途として将来有望な先進的な研究に関するファンディング、⑥海外との連携強化、が示されている。同戦略は、基礎技術から装備品システムに至るエンジニアリングの過程に注目し、防衛装備品の研究開発における中長期的な視点の必要性に言及した上で、民生先端技術への関心及びそれらの技術の防衛分野への移転に取り組む方針を示したものと解釈できる。

(イ) 防衛技術戦略²⁰

防衛技術戦略は、我が国の防衛力の基盤である技術力を効果的・効率的に強化することを目的として策定された。国家安全保障戦略においても、国家安全保障の観点から、我が国の高い技術力は経済力や防衛力の基盤であり、デュアル・ユース技術を含め一層の技術の振興を促し、我が国の技術力の強化を図る必要がある、とされている。

同戦略の特徴は、防衛産業基盤育成の観点から基本的な方向性を示した防衛生産・技術基盤戦略と異なり、防衛装備品よりもむしろ、それらを支える基盤である技術力の強化に重点を置いている点にある。

そのため、同戦略は、防衛省の技術政策の目標を、

1. 技術的優越の確保
2. 優れた防衛装備品の効果的・効率的な創製

の2点としている。これらの間には優先順位はなく、相補的・相乗的なものと考えられており、両者を推し進めることによって、我が国の技術力の強化につなげていく考えである。

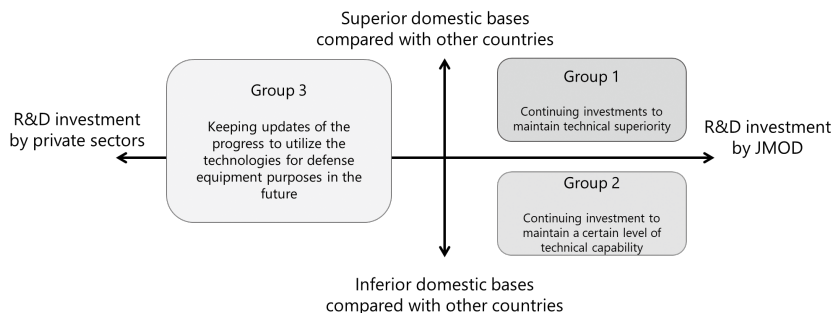
これらの目標を達成するため、防衛省が行うべき取組としては、

1. 技術の把握
2. 技術の育成
3. 技術の保護

の3点を掲げている。

同戦略の特徴として、具体的施策を推進するための前提として、我が国の技術基盤の状況をふまえ、考慮すべき三つの観点（ポートフォリオ）を示している点が挙げられる。同戦略において、防衛省は、投資志向（防衛省として積極的に投資を行うかどうか）を横軸、及び投資による期待される効果（技術的優越を獲得しやすいかどうか）を縦軸とした四象限に、考慮すべき三つの観点を重ね、それぞれのグループに対する投資の基本方針を示した。各グループの特徴及び投資の基本方針については以下に示すとおりである。

図2：防衛技術戦略における3つの観点（ポートフォリオ）



グループ 1) 既に他国に対し優位にある分野

新興技術と呼ばれている技術のうち、我が国が得意とし、かつ、防衛上の用途が明確である一部の技術は、このグループ 1 に属すると考えられる。例えば、これまでも、国際共同研究開発においても一定の評価を得た先進的な材料技術が挙げられる。こうした技術分野については、引き続き防衛省として積極的に資源を投入することとしている。

グループ 2) 現時点で優位な技術基盤を有していないものの、一定の技術力を保持しなければ戦略的に不利になる技術分野

多くの国でそうであるように、技術への投資を行う理由は、一部の新興技術における強みを活かすためだけではない。同戦略では、現時点では我が国の技術基盤が他国に比べ優位にない場合においても、一定の技術力を保持しなければ戦略的に不利になるおそれがあるため、技術力を維持する目的で資源を投入する、としている。グループ 2 には、新興技術ではなく、すでに成熟段階にある技術と整理されるものも含まれると考えられるが、さらに、グループ 2 の技術への継続的な投資は、防衛装備品のサプライチェーンの維持の観点からも重要と考えられる。

グループ 3) 民間において自発的な研究開発が進んでいる技術分野

先の図に示したとおり、我が国において、研究開発支出の約 85% を占めているのは民生分野における研究開発投資である。同戦略においては、民間において自発的な研究開発が進んでいる技術分野は、防衛上の用途が必ずしも明確でないため、防衛省としては積極的に投資しないが、防衛装備品への転活用を効率的に進めるため、技術動向を把握することに努める、としている。特に、近年のデジタル技術の進歩により、グループ 3 の技術がいっそう重要になりつつある。

技術動向の把握は、少なくとも、防衛分野への技術移転の出発点であることから、継続的かつ網羅的な調査は不可欠である。今後は、さらに、民生分野で進展している新たな技術を単に見つけるのではなく、その技術を防衛分野に移転する²²、つまり、産業基盤の構築と、防衛上の要求の明確化を目的とした投資と

プロセスの見直しが必要ですと予想される。

以上が、防衛省における、現時点の装備政策及び技術政策の基本的な方向性である。現在、これらの戦略のもと、各種施策が着実に実行されているところである。

5. 防衛省における研究開発投資の推移と新興技術に対する投資

研究開発投資の金額と内訳は、当該国または組織の新興技術への投資の考え方を理解するために有効な手がかりである。そこで、防衛省における装備政策及び技術政策の基本的な考え方をふまえ、研究開発投資の推移について考察する。

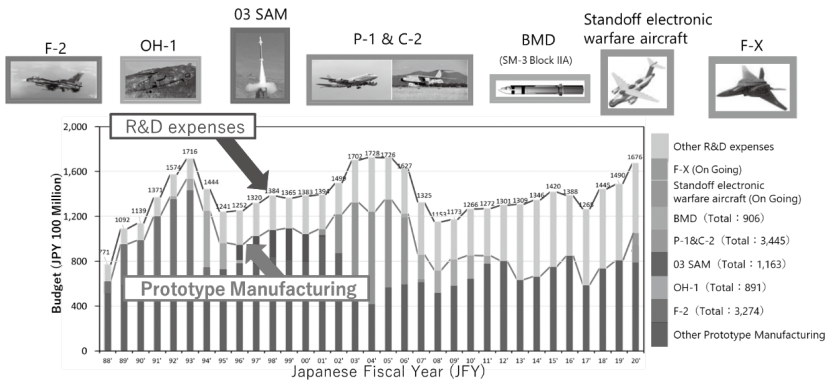
図3は、過去30年間の防衛省の研究開発予算の推移である。横軸は1988年から2020年を表し、縦軸は、研究開発予算とそのブレイクダウンを示している。バーの色は、応用研究ⁱや試験評価ⁱⁱを含む経費と、試作品の製造に係る経費ⁱⁱⁱにそれぞれ対応している。この図から、これまで、防衛省においては、特定のビッグ・プロジェクトと連動し、研究開発費が大きく変動してきたことが分かる。

ⁱ 米国防総省における 6.1 Basic research、6.2 Applied Research 及び 6.3 Advanced Technology Development に相当するものと解釈できる。

ⁱⁱ 米国防総省における 6.6 Test & Evaluation に相当するものと解釈できる。

ⁱⁱⁱ 米国防総省における 6.4 Advanced Component Development and Prototypes 及び 6.5 System Development and Demonstration に相当するものと解釈できる。

図 3: 防衛省における研究開発経緯の推移



特定のビッグ・プロジェクトへの投資が、優れた国産装備品の実現に一定の役割を果たしてきたことは確かである。しかし、限られた予算と時間の中で、こうした特定のプラットフォーム開発への優先的な投資を今後も続けていくのか、それとも、中期的及び長期的な研究開発投資のバランスを考慮し、特定のプラットフォームに偏ることなく、宇宙・サイバー・電磁スペクトラムといった新たな領域における能力の獲得や強化に安定的な投資を行っていくのか、あるいは、それらを両立させるため、より多くの資源を充当していくのか、今のところ、顕著な傾向の変化は見られないことから、現在は過渡期にあると推測される。この点については、引き続き議論を注視する必要がある。

6. 新興技術のアジア太平洋地域の安全保障環境へのインパクト

アジア太平洋地域の特徴は、『令和 3 年度版防衛白書』²³によれば、

「わが国を含むインド太平洋地域の各国は、政治体制や経済の発展段階、民族、宗教などの面で多様性に富み、また、安全保障観、脅威認識も様々であることなどから、安全保障面の地域協力枠組みは十分制度化されておら

ず、地域内における領土問題や統一問題といった従来からの問題も依然として残されている。」

と総括されている。こうした地域の特徴は、新興技術の応用の範囲、実装方法、時期等に影響を及ぼす²⁴。そのため、これらを踏まえつつ、いくつかの代表的な技術分野ごとに、アジア太平洋地域の安全保障環境へのインパクトについて論じる。

(ア) 電磁スペクトラム技術 (EMS Technology)

電磁スペクトラムは、宇宙・サイバーとともに、新たなドメインとして注目されている²⁵。電磁スペクトラムを他のドメインと同様、独立したドメインとして扱うべきかについては、未だ議論の余地があるが^{26, 27}、複数のドメインをつなぎ、支えているという性質については、広く認識されているところである²⁸。

電磁スペクトラム技術は、様々な先行研究で示唆されているとおり、グレーゾーンにおける我が方の選択肢を増やし、事態をコントロールする主導権をもたらす可能性がある²⁹。

一例として、電磁スペクトラム技術の一つの応用である指向性エネルギー装備 (Directed Energy Weapons) について考える。対象に何らかの効果をもたらすエフェクターに関して、従来の手段は、飛しょう体 (Projectile) のみであった。したがって、飛しょう体には様々な種類が存在するが、グレーゾーンで使用することは意図せぬエスカレーションを招く可能性があるため、有効な手段とはなりえなかった。一方、指向性エネルギー装備は、電磁波によるエネルギーの伝送により対象物に影響を及ぼすという、エフェクターとして、従来の飛しょう体では実現できなかった第3の選択肢を実現する。

指向性エネルギー装備は、使う側にとっても、使われる側にとっても、従来のように、目視でその効果を確認することが難しい。したがって、意図的に使用した後、相手の反応を見る、という使い方が可能になる。そのため、どの国が使うとしても、能力を持つ側にとって有利な選択肢をもたらすと予想できる³⁰。

一方、安全保障面の地域協力枠組みは十分制度化されていない地域の現状を

考えると、電波の使用に伴うホスト国調整³¹は大きな困難が予想される。これは、技術のみによって解決される問題ではないが、電磁波管理^{31,32}は電磁スペクトラム技術の適用における大きな課題になると考えられる。

(イ) 宇宙を含む広域警戒監視

一般に、広域警戒監視の能力の強化は、戦略レベルから戦術レベルに至る意思決定に不可欠である³³。宇宙空間の利用が進むことで、従来は国境により制限を受けていた警戒監視の範囲が広がり、観測対象の国や地域の上空から地表の状況を確認することが可能となった。

こうした背景を踏まえ、今後の研究開発において直面すると予想される技術的課題としては、マシン間 (Machine-to-machine) の通信³⁴及び高度な演算処理によって支えられるパッシブ分散探知の実現、センサの搭載性の向上、さらに、センサの単なる小型化にとどまらず、オープンアーキテクチャ化³⁵による柔軟性の確保や速やかな能力向上も含まれる。

さらに、センサそのものの能力もさることながら、増大するデータを効率よく処理するため、限られた電力によるセンサ信号処理、複数の信号源からのデータに対する情報融合 (sensor fusion) のアルゴリズムが発展すると期待される。

これらの技術が進展した結果として予想される戦略環境へのインパクトとしては、より高度化する警戒監視能力に対抗するため、宇宙から見られていることを前提とした欺瞞 (Deception) や隠蔽の必要が生じ、そのための技術や手法が今後さらに発展していくと予想される³⁶。

(ウ) サイバー防衛

今や、サイバー空間の安定的な利用は、様々な防衛活動を支える基盤である。装備品システムオブシステムズは、ネットワークによって成り立っていることは言うまでもない。装備品システムの稼働を支えるため、国家のみならず、様々な非国家主体からの脅威に備え、装備品の稼働に不可欠なサイバー空間の利用を担保する必要に迫られる。

そのための技術的課題としては、装備品に組み込まれたサイバーシステムおける

被害の未然防止、また、防衛に必要なシステムの運用継続の確保が挙げられる。

これらの技術的課題の解決には、民生技術の活用が欠かせない。しかし、防衛用に使われるシステムの性質上、すべてを民間部門に委ねることは不可能である。そのため、防衛取得コミュニティが脅威動向を常に把握するとともに、最新の民生技術にアウトリーチし、それらの民生技術を速やかに個々の装備品に適用していくかが鍵となると考えられる。そのためには、従来の装備品の研究開発で多く見られたウォーターフォール型の研究開発プロセスではなく、民生分野における商慣習に習い、能力を速やかに獲得するための柔軟な取得プロセスが必要となると思われる³⁷。

（エ）無人化・自律化技術

自律技術の進歩により、無人ビークルは従来の有人ビークルの機能を補完する、または、部分的に代替することになると予想される。アジア太平洋地域においても、人口増加率は近年鈍化しており³⁸、我が国のように既に人口減少段階にある国や地域もある。こうした国々は特に、無人ビークルによる恩恵を受けると期待される^{30,39}。

自律システムの実現には、周辺環境を認識する技術の獲得や無人ビークルへのインテグレーションに加え、無人ビークルと有人ビークルを含めた指揮統制の仕組みを考える必要がある。

四方を海に囲まれている我が国は、特に海洋無人機の利活用により多くの恩恵を受けることができると考えられる。

（オ）極超音速技術

極超音速飛しょう体は、

1. 対応時間がきわめて短い
2. 飛しょう経路が予測できない

という、従来の弾道ミサイルや巡航ミサイルにない特徴を備えており⁴⁰、迎撃が極めて困難と考えられるため、「ゲーム・チェンジャー」の代表例として引き合いに出される。飛しょう体の外観から、搭載されている弾頭の種類を判別することができないため、極超音速飛しょう体が、地域の戦略的な安定を損なう可能性があるとの指摘がなされている⁴⁰。

我が国においては、極超音速飛しょう体の研究開発を進めているところであり、技術的課題として、極超音速域の空力加熱に耐える耐熱技術、超音速燃焼技術の確立、などが挙げられる。これらの技術はまだ実証段階にあると考えられており、装備として実現するためには、期待される効果に見合う装備として調達可能な程度に安価となることが期待される。

7. デジタル技術を用いた安全保障環境へのインパクトの定量評価と予見

先に説明したいくつかの技術を含め、様々な新興技術のインパクトを、定性的な議論に留めることなく、定量的に評価し、予見するための鍵はデジタル技術である。近年のコンピュータのハードウェア性能の進歩に加え、モデリング & シミュレーション技術が進展してきたことで、異なる複数の種類のユニットを織り交ぜた複雑な交戦シミュレーションが実行可能となってきた⁴¹。実空間では、懸念国による電波収集の懸念、国内外の法規制などにより実現が難しい、幅広い電磁スペクトラムを使った電子戦シミュレーションも実現可能となってきた⁴²。こうしたミッションレベルのモデリング & シミュレーション技術は、訓練にも利用できるばかりでなく、彼我の軍事的ケイパビリティのギャップの発見、また、それを埋める手段を検討するきっかけとしても活用することができる⁴³。いわば、デジタル技術は、研究開発コミュニティとユーザの間をつなぐ「橋」となりうる。将来的には、ミッションエンジニアリングが、従来のシステムエンジニアリングの視点よりも幅広いフォースレベルの視点を研究開発コミュニティにもたらすことが期待される。さらには、

1. 新技術のインパクトの定量的な予測、
2. 技術に対する投資の意思決定の合理性の裏付け、
3. 取得の決定における判断の裏付け、

といったことも、デジタル技術の活用により可能になると期待される⁴⁴。

8. おわりに

本報告では、新興技術への投資がアジア太平洋地域の戦略環境にもたらす影響について、我が国の視点を中心として概説した。近年、技術への投資の中心となる主体は民間企業に移っているが、国家による技術への投資も引き続き一定の割合を維持しており、技術への投資は、国家間競争のツールの一つと見なされている。政府の役割として、コスト効率を最適化しつつ、将来の要求に備えリソースを最適化する必要性に迫られている。

防衛省としては、研究開発や調達に関わるステークホルダの長期的な視点を支えるため、装備政策及び技術政策の基本的な方向性を示した二つの戦略を公表している。

将来の戦いを予測する際には、常に不確実性が伴うため、防衛に関わる科学者及び技術者は、戦略的視点を意識する必要がある。

アジア太平洋地域の特徴をふまえると、電磁スペクトラム、宇宙を含む広域警戒監視、サイバー防衛、無人化・自律化技術、極超音速技術は、地域における安全保障環境に不可逆な変化をもたらす可能性がある。また、これらの技術がもたらすインパクトを、定性的な議論に留めることなく、定量的に評価し予見するためには、デジタル技術の一層の活用が期待される。

(本稿に表明された見解はすべて筆者個人のものであり、防衛装備庁又は防衛省の公式の立場を表すものではない。)

参考文献

- ¹ OECD, “Frascati Manual 2015”, https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/frascati-manual-2015_9789264239012-en (2022 年 6 月 15 日アクセス)
- ² National Science Foundation, “Definitions of Research and Development: An Annotated Compilation of Official Sources”, March 2018.
- ³ Jaruzelski, Barry, Robert Chwalik, and Brad Goehle. “What the top innovators get right.” *strategy+ business* 93 (2018).
- ⁴ OECD, “Main Science and Technology Indicators”, September 2021.
- ⁵ Sechser, Todd S., Neil Narang, and Caitlin Talmadge. “Emerging technologies and strategic stability in peacetime, crisis, and war.” *Journal of strategic studies* 42.6 (2019): 727-735.
- ⁶ Mazarr, Michael J., Jonathan S. Blake, Abigail Casey, Tim McDonald, Stephanie Pezard, and Michael Spirtas, *Understanding the Emerging Era of International Competition: Theoretical and Historical Perspectives*. Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2018. https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR2726.html.
- ⁷ Rotolo, Daniele, Diana Hicks, and Ben R. Martin. “What is an emerging technology?” *Research policy* 44.10 (2015): 1827-1843.
- ⁸ Boon, Wouter, and Ellen Moors. “Exploring emerging technologies using metaphors—a study of orphan drugs and pharmacogenomics.” *Social science & medicine* 66.9 (2008): 1915-1927.
- ⁹ Lichtenbaum, Peter, Victor Ban, and Lisa Ann Johnson. “Defining ‘emerging technologies’ : Industry weighs in on potential new export controls.” *China Business Review* 17 (2019): 2019.
- ¹⁰ Martin, Ben R. “Foresight in science and technology.” *Technology analysis & strategic management* 7.2 (1995): 139-168.
- ¹¹ Adner, Ron, and Daniel A. Levinthal. “The emergence of emerging technologies.” *California management review* 45.1 (2002): 50-66.
- ¹² Sayler, Kelley M. *Emerging Military Technologies: Background and Issues for Congress*. Congressional Research Service Washington United States, 2020.
- ¹³ Department of Defense. “Department of Defense Dictionary of Military and Associated Terms.” (2021).
- ¹⁴ Thaler, David E., *Strategies to Tasks: A Framework for Linking Means and Ends*. Santa Monica, CA: RAND Corporation, 1993. https://www.rand.org/pubs/monograph_reports/MR300.html.
- ¹⁵ Davis, Paul K. and Lou Finch, *Defense Planning for the Post-Cold War Era: Giving Meaning to Flexibility, Adaptiveness, and Robustness of Capability*. Santa Monica, CA: RAND Corporation, 1993. https://www.rand.org/pubs/monograph_reports/MR322.html. Also available in print form.
- ¹⁶ Troxell, John F. “Force Planning in an Era of Uncertainty: Two MRCs as a Force Sizing Framework.” (1997).
- ¹⁷ Knopman, Debra, Don Snyder, Irv Blickstein, David E. Thaler, James A. Leftwich, Colby P.

- Steiner, Quentin E. Hodgson, Elaine Simmons, Krista Romita Grocholski, and Yvonne K. Crane, Proposed Analytical Products for the Air Force Warfighting Integration Capability: Developing and Presenting Options for Future Force Design and Capability Development. Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2020.
https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR4199.html. Also available in print form.
- ¹⁸ Morgan, Forrest E. and Raphael S. Cohen, Military Trends and the Future of Warfare: The Changing Global Environment and Its Implications for the U.S. Air Force. Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2020.
https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR2849z3.html. Also available in print form.
- ¹⁹ 防衛省、「防衛生産・技術基盤戦略」平成 26 年 6 月、
<https://www.mod.go.jp/atla/soubiseisakuseisan.html> (2022 年 3 月 25 日アクセス)
- ²⁰ 防衛省、「防衛技術戦略」平成 28 年 8 月、
https://www.mod.go.jp/atla/soubiseisaku_strategy.html (2022 年 3 月 25 日アクセス)
- ²¹ 「装備の生産及び開発に関する基本方針、防衛産業整備方針並びに研究開発振興方針について(通達)」(昭和 45 年 7 月 16 日)
- ²² Brandt, Linda. "Defense Conversion and Dual - Use Technology: The Push Toward Civil - Military Integration." Policy Studies Journal 22.2 (1994): 359-370.
- ²³ 防衛省. “令和 3 年度版 防衛白書” 防衛白書 (2021).
- ²⁴ Sayler, Kelley M. Emerging Military Technologies: Background and Issues for Congress. Congressional Research Service Washington United States, 2020.
- ²⁵ “平成 31 年度以降に係る防衛計画の大綱”(国家安全保障会議決定、閣議決定) 平成 30 年 12 月 18 日
- ²⁶ Sydney J. Freedberg Jr., “Spectrum (EW) Should Be A Warfighting Domain: Rep. Bacon”, Breaking Defense, <https://breakingdefense.com/2017/11/spectrum-ew-should-be-a-warfighting-domain-rep-bacon/> (2022 年 3 月 25 日アクセス)
- ²⁷ Garrett K. Hogan, “The Electromagnetic Spectrum: The Cross Domain”, Joint Air Power Competence Centre, <https://www.japcc.org/electromagnetic-spectrum-cross-domain/> (2022 年 3 月 25 日アクセス)
- ²⁸ CRS, “Defense Primer: Electronic Warfare”, IF11118, Nov. 23, 2021.
- ²⁹ Clark, Bryan, Mark Gunzinger, and Jesse Sloman. Winning in the gray zone: using electromagnetic warfare to regain escalation dominance. Center for Strategic and Budgetary Assessments, 2017.
- ³⁰ Hornung, Jeffrey W., Scott Savitz, Jonathan Balk, Samantha McBirney, Liam McLane, and Victoria M. Smith, Preparing Japan's Multi-Domain Defense Force for the Future Battlespace Using Emerging Technologies. Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2021. <https://www.rand.org/pubs/perspectives/PEA1157-1.html>.
- ³¹ Joint Publication 3-85, “Joint Electromagnetic Spectrum Operations(JEMSO)”, May 2020.
- ³² Department of Defense, “Electromagnetic Spectrum Superiority Strategy”, October 2020.

- ³³ Alkire, Brien, Yool Kim, Matthew Berry, David Blancett, James Dimarogonas, Niraj Inamdar, Sherrill Lingel, Nicholas Martin, George Nacouzi, Joel B. Predd, and William A. Williams, Enhancing Assessments of Space Mission Assurance. Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2020. https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR2948.html. Also available in print form.
- ³⁴ Anton-Haro, Carles, and Mischa Dohler, eds. Machine-to-machine (M2M) communications: architecture, performance and applications. Elsevier, 2014.
- ³⁵ Collier, Charles Patrick, et al. "Sensor Open System Architecture (SOSA)." Open Architecture/Open Business Model Net-Centric Systems and Defense Transformation 2016. Vol. 9849. SPIE, 2016.
- ³⁶ Vick, Alan J., Air Base Attacks and Defensive Counters: Historical Lessons and Future Challenges. Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2015. https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR968.html. Also available in print form.
- ³⁷ DAU, "Adaptive Acquisition Framework", <https://aaf.dau.edu/> (2022 年 3 月 25 日アクセス)
- ³⁸ United Nations, "World Population Prospects 2019", 2019, <https://population.un.org/wpp/Publications/> (2022 年 3 月 25 日アクセス)
- ³⁹ Tate Nurkin and Ryo Hinata-Yamaguchi, "Emerging Technologies and the Future of US-Japan Defense Collaboration", Atlantic Council, April 2020.
- ⁴⁰ CRS, "Hypersonic Weapons: Background and Issues for Congress", March 2022.
- ⁴¹ National Research Council. Modeling and simulation in manufacturing and defense acquisition: Pathways to success. National Academies Press, 2002.
- ⁴² Adamy, David. Introduction to electronic warfare modeling and simulation. Artech House, 2003.
- ⁴³ Leftwich, James A., Debra Knopman, Jordan R. Fischbach, Michael J. D. Vermeer, Kristin Van Abel, and Nidhi Kalra, Air Force Capability Development Planning: Analytical Methods to Support Investment Decisions. Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2019. https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR2931.html. Also available in print form.
- ⁴⁴ Department of Defense, "Mission Engineering Guide", Nov 2020.