

一般財団法人 新技術振興渡辺記念会 2021 年度（上期）科学技術調査研究助成

民生技術に潜む 軍民両用技術

</ 現状調査と技術的検証 >



調査研究報告書

2022年7月

明治大学 POLARIS(市民社会と科学技術政策研究所)

POLARIS-DUT(軍民両用・融合技術研究ユニット)



目次

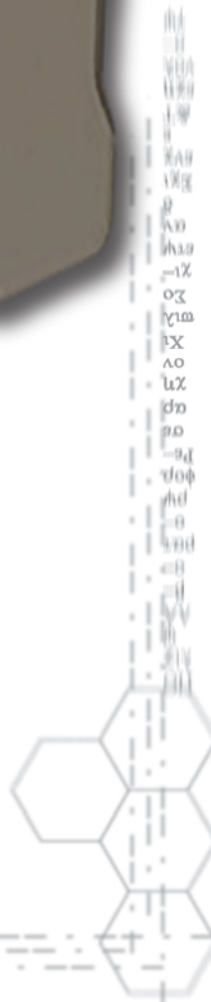
</ はじめに >	1
</ 注意事項 >	2
</ 意識調査 >	3
</ 分析方法 >	
1. 映画「太陽の子」上映会トークイベント	
「いまあらためて《科学者の社会的責任》を問う」登壇者の見解	3
</ ワードクラウド分析 ></ 分析結果 >	4
2. 専門家インタビュー：安全保障、安全保障輸出入管理	5
佐藤丙午（拓殖大学 教授）	
</ ワードクラウド分析 ></ 分析結果 >	
3. 専門家インタビュー：軍事ライター	6
木村和尊（軍事ライター）	
</ ワードクラウド分析 ></ 分析結果 >	
4. 専門家インタビュー：サイバーセキュリティ	7
[REDACTED]	
</ ワードクラウド分析 ></ 分析結果 >	
5. 専門家インタビュー：原子力 / 核	8
勝田忠広（明治大学 教授 工学博士	
原子力規制委員会原子炉安全専門審査会委員）	
</ ワードクラウド分析 ></ 分析結果 >	
6.</ 得られた結果 >	9
7.</ 結果の比較 >	10
</ 技術的検証 >	11
1.</ 技術的検証 サーマルカメラ >	11
</ サーマルカメラ実証実験・購入から動作まで >	14
< 得られた結果 / 考察 >	16
</ 得られた課題 >	
2.</ 技術的検証 コンピューター >	18
< 得られた結果 / 考察 >	19
</ 得られた課題 >	20
3.</ 技術的検証 家庭用ゲーム機 >	21
< 得られた結果 / 考察 >	23
</ 得られた課題 >	24
4.</ 技術的検証 スマートフォン >	25
< 得られた結果 / 考察 >	29
</ 得られた課題 >	
5.</ 技術的検証 民生用ドローン >	30
</ 実証実験 ドローン（100g以下、規制対象外） >	31
「ホームセンターで1万円で購入したトイドローン Tello」編	
</ 実証実験 ドローン（100g以上、規制対象） >	35
「AIドローン Skydio 2（US仕様）」編	
「実証実験 規制、資格編」	39
< 得られた結果 考察 >	43
< 得られた課題 >	44
補足 ウクライナ危機に見る民生用ドローンの活用	45
6.</ 技術的検証 ゴアテックス >	47
</ 実証実験 ゴアテックス / ジャケット >	51
1) 撥水性、防水性 編	52
2) 防風性、保温性 編	53
< 得られた結果 考察 >	54
< 得られた課題 >	55
</ 技術的検証 結果の比較 >	56
</ 付録 中間発表 デュアルユース・ナラティブ DUT-NT >	57
</ 結論 >	58

一般財団法人 新技術振興渡辺記念会
令和3年度(2021年度)科学技術調査研究助成

「民生技術に潜む軍民両用技術 ：現状調査と技術的検証」

▶ 調査研究報告書

明治大学 POLARIS | POLARIS-DUT



</はじめに>

近年、「軍民両用技術」（デュアルユース）という概念は様々な議論の場で多用されている。例えば2015年から始まった防衛装備庁による安全保障技術研究推進制度¹に関連した大学の軍事研究問題の議論²や、政府が法案成立を進めている経済安全保障推進法案³に関連する報道⁴が挙げられる。しかしながらそのほとんどにおいて、この用語は具体的な内容が不明瞭なまま使用されている。例えばその大半は「AIや量子コンピューター等いわゆる軍民両用技術...」といった総称や分類程度の使用であり、「軍民両用技術という複雑な問題...」「軍民両用技術の側面もある...」というようにその具体的な技術を提示しないままの曖昧な使用も多い。

一方、大学や研究機関においては、経済産業省安全保障貿易検査官室による資料「先生！！ちょっと待ってください！」⁵等により、対象となる研究者は自身の扱う技術が軍民両用技術にあたることを確認できる。しかしそれはあくまでも安全保障貿易、つまり輸出入に関する視点からの注意喚起に留められているに過ぎない。なお経済安全保障推進法は2023年度から施行予定であり、安全保障に関連する技術を扱う大学や企業等は規制対象となる予定である。

そして市民生活の場では、軍民両用技術に囲まれているという意識や安全保障貿易に関する周知は皆無に等しく、一般社会はこの問題の認識が十分に出来ていないといえる。

本調査研究では、主として市民生活に浸透している民生技術の中にある軍民両用技術に着目し、その利用に関する現状調査や技術的検証を行う。そしてその結果から、専門家だけではなく利用者である市民も含めた一人一人にその自覚と責任を促し、軍民両用技術に対する理解と共生の仕方を提示する。その成果は、例えば今後の経済安全保障の議論において、軍民両用技術に関する技術的根拠を基にした問題提起になるものと思われる。

なお2022年2月24日に始まったロシアによるウクライナ侵攻の危機的状況において、ウクライナでは軍と市民により軍民両用技術（民生技術）が多用されていることが判明している。当初の研究計画には含まれていないものの、本研究の先見性と必要性を示す重要な参考事例として触れている。

¹ 防衛分野での将来における研究開発に資することを期待し、先進的な民生技術についての基礎研究を公募する制度
防衛装備庁 | 安全保障技術研究推進制度 : <https://www.mod.go.jp/atla/funding.html>

² 科学者の軍事研究協力問う 日本バグウォッシュ会議 総会記念シンポ | しんぶん赤旗 | https://www.jcp.or.jp/akahata/aik19/2019-12-03/2019120314_02_1.html

³ 2022年5月11日成立 | 経済施策を一体的に講ずることによる安全保障の確保の推進に関する法律案概要 | 内閣官房 | <https://www.cas.go.jp/jp/houan/220225/siryou1.pdf>

⁴ 先端技術「軍民両用」に危機感 経済安保法案に4本柱 経済安全保障の論点 | 日本経済新聞 | <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUA01COJ0R01C21A100000/>

⁵ 安全保障貿易管理に関するリーフレット | 経済産業省 | http://www.meti.go.jp/policy/ampo/seminer/shiryo/setsumei_senseimatta.pdf

</注意事項>

以下は本調査研究における技術的検証及び実証実験についての注意事項及び免責事項について述べたものです。お読みいただいた際には下記の事項に承諾していただいたものと判断します。

本調査研究における技術的検証及び実証実験におきましては、事前の準備や確認等、安全に配慮して行いました。同型や同様の機器及び製品における機能、性能、動作を保証するものではありません。本調査研究において取り上げた機器、製品、技術の軍事利用、軍事転用を推奨する意図はありません。本調査研究における技術的検証及び実証実験の内容を用いて行う行動において被った損害、損失に対しては、いかなる場合も一切の責任を負いません。



</意識調査>

意識調査として「軍民両用技術」に対する意識や認識について、立場や分野における差異を明らかにする事を目的として「軍民両用技術」をテーマにした一般公開イベントや安全保障、軍事、サイバーセキュリティ、原子力の専門家、実務家にインタビューを行った。さらにこの調査では、そのインタビューをテキストデータ化し、汎用的なクラウド型AIテキストマイニングで単語の分類、ワードクラウド（図画）やグラフ図を生成してキーワードとしての「軍民両用技術」の曖昧さと立場や専門分野が異なる調査対象者の認識の違いを可視化する事を目的とする。

</分析方法>

- 今回のテキスト分析、ワードクラウド形式での可視化に関する一連の処理は、公平性の観点からローカルPCでの処理を避け、報道機関（テレビ、新聞）や政府、自治体における統計などに広く用いられているクラウド型AIテキストマイニングツール「User Local AI テキストマイニング⁶」を使用した。
- ワードクラウドとは、対象となるテキストから特徴語を抽出する為TF-IDF⁷法による統計処理により単語の出現回数に重要度を加味した値をスコアとして、スコアが高い単語はそのテキスト（文章）を特徴づける単語として大きく表示される。単語の色は青色が名詞、赤色が動詞、緑色が形容詞を表す。
- ワードクラウドで可視化した絵図から、発言者がどのような単語を多用するか、どの単語に重点を置いているか等の要点を抑えて見解を示す。

1.映画「太陽の子」上映会トークイベント「いまあらためて《科学者の社会的責任》を問う」登壇者（専門家）の見解

</対象者>※氏名（役職、主な専門分野）※五十音順※役職は調査当時
 小沼通二（慶應大学名誉教授 | 物理学）
 鈴木達治郎（長崎大学教授 | 原子力政策）
 畠山澄子（国際NGOピースボート主任研究員 | 科学技術史）
 吉田文彦（長崎大学RECNAセンター長 | 国際公共政策）



⁶ User Local AIテキストマイニング：株式会社ユーザーローカル（<https://textmining.userlocal.jp/>）

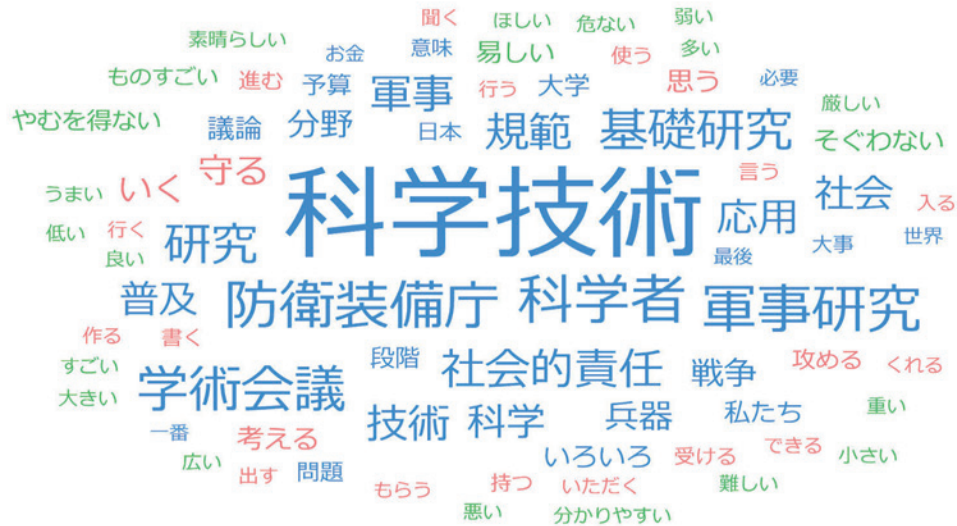
⁷ 自然言語処理／機械学習におけるtf-idfとは、各文書（document）中に含まれる各単語（term）が「その文書内でどれくらい重要か」を表す統計的尺度の1つ <https://atmarkit.itmedia.co.jp/ait/articles/2112/23/news028.html>（ITmedia AI・機械学習の用語辞典：アイティメディア株式会社）

</概要>

2021年11月21日に長崎大学で開催された映画「太陽の子」⁸上映会の一環でトークイベント⁹が行われ、トークイベントのみ会場からYouTubeを通してライブストリーミング配信された。

トークイベントのテーマは日本の原爆開発に関わる科学者の葛藤を描いた映画の内容を踏まえる形で、大学の軍事研究、軍民両用技術（デュアルユース）問題、科学者の社会的責任とし、4名の登壇者が意見を交わした。

</ワードクラウド分析>



</分析結果>

映画の内容を踏まえ、第二次大戦中に大学の科学技術研究が軍事転用された事例から防衛装備庁の安全保障技術研究推進制度に関連するコメントが大半を占めた。

この事により「科学技術」を中心に「軍事研究」「防衛装備庁」「兵器」「科学者」「社会的責任」や防衛装備庁の安全保障技術研究推進制度に反対を表明¹⁰している「学術会議」（日本学術会議）という単語の周囲を「危ない」「攻める」「戦争」といった単語が取り囲んでいる。

このイベント及び登壇者の「軍民両用技術」に対する意識は、本研究で対象としている身近な民生技術からの軍事転用という側面とは異なり、研究機関の研究者が軍事利用を目的として行う「軍事研究」の成果として得られる「技術」という結果を得る事が出来た。また、その「技術」が日本と近隣諸国の緊張感を高める、という理由で懸念を表明するなどネガティブな印象を抱いている事が明らかになった。一方で「技術」についての具体的な説明や名称については言及が無く「軍民両用技術」に対する認識については曖昧さが残る結果となった。

⁸ 『映画 太陽の子』（監督・脚本：黒崎博 2021年8月6日公開） <https://taiyounoko-movie.jp/>

⁹ 『映画 太陽の子』上映&トークイベント「いまあらためて《科学者の社会的責任》を問う」（11月21日）のご案内（長崎大学RECNA） <https://www.recna.nagasaki-u.ac.jp/recna/topics/29284>

¹⁰ 日本学術会議：軍事的安全保障研究に関する声明（2017年3月24日）

<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-s243.pdf>

2. 専門家インタビュー：安全保障、安全保障輸出入管理

</対象者>

佐藤丙午（拓殖大学 | 教授 | 国際政治、安全保障）



</概要>

経済産業省、防衛省、外務省において安全保障、軍縮、輸出入管理に関する委員会委員や有識者を務め、近年は国連軍縮会議における特定通常兵器使用禁止制限条約（CCW）の自律型致死兵器システム（LAWS）の専門家会合¹¹に日本代表団として参加した経験を持つ、佐藤丙午氏に「軍民両用技術」についての認識や現状についてインタビューを行った。

</ワードクラウド分析>



</分析結果>

安全保障、軍縮、輸出入管理の専門家として、また政府の有識者や関係機関の委員を務めた経験を持つ佐藤氏は、調査を行った時期（2021年7月）が経済安全保障に関連する新たな機関¹²の設立や経済安全保障推進法¹³関連の報道が盛んな頃だった事もあり、新聞にも取り上げられた「日本版DARPA¹⁴」の意味合いを示すなどタイムリーな話題を中心に見解を示した。

ワードクラウド図画では、自身が委員を務めた経験から政府関係者に行ったアドバイスや関係する省庁名、その対象となる「半導体」「薬品」等の具体例と共に「つばい」「ふう」といった「軍民両用技術」が持つ曖昧さや不確定要素を表す表現も多く捉えている。さらに自身の経験から、愛犬の耳の矯正テープのリムーバーに含まれる「薬品」が化学兵器の原材料になるという理由で購入時に課せられる制約を例に挙げる等、潜在的に身近に存在する「軍民両用技術」についても言及した。佐藤氏にとって「軍民両用技術」とは、軍事転用または使用された「技術」全てを指す結果論である、という認識を得る事が出来た。

¹¹自律型致死兵器システム（LAWS）について（外務省：https://www.mofa.go.jp/mofaj/dns/ca/page24_001191.html）

¹²経済安保研究へ新機関創設へ...民生にも軍事にも活用できる先端技術強化（読売新聞オンライン2021/04/27）
<https://www.yomiuri.co.jp/politics/20210426-OYT1T50269/>

¹³経済施策を一体的に講ずることによる安全保障の確保の推進に関する法律案概要（内閣官房 経済安全保障法制準備室）<https://www.cas.go.jp/jp/houan/220225/siryou1.pdf>

¹⁴DARPA（日本名：米国防総省国防高等研究計画局）<https://www.darpa.mil/>

子力規制に関わる立場と実験を伴う原子力工学の研究者としての経験と知見から「原子力」についての技術的な基礎や、核物質を扱う上での規制を中心に見解を示した。

ワードクラウド図画では「原子力」の基礎にあたる「物質」「核物質」「プルトニウム」「ウラン」といったワードが中央に配置され、その周囲に「電力会社」「規制」「技術」「規制」が表示されている。勝田氏は原子力の基礎や仕組みは軍民共にも変わらない点を挙げ、技術的には軍民両用技術に当てはまるものの、いずれの場合にも厳しい規制が存在する事から、他の技術に比べて身近ではない、という見解を示した。また原子力発電においては、発電された電気が身近であると思われるが、一市民が自身の使う電力がどのように発電されたかを特定するのは困難であり、特に福島第一原発事故以降は、現在も多くの原発が停止している現状においては原発で発電された電気すら身近とは言い難い、という考察も付け加えた。

勝田氏からは「軍民両用技術」という視点で捉える「原子力」について、国という単位の中で規制を設けて運用する機微で巨大な技術である事から、軍＝「国」であり、民＝「電力会社」であるという認識を得る事が出来た。

6.<得られた結果>

「映画「太陽の子」上映会トークイベント」では、「軍民」の「軍」という部分に対する懸念が非常に強く「戦争」「兵器」と直接結び付く「軍事研究」という側面から「軍民両用技術」を認識している印象を受けた。

佐藤丙午氏は、経済安全保障に関連する国の取り組みや対象となる技術の名称に加えて、自身の経験から身近な「軍民両用技術」の例を挙げ、どのような技術でも結果的に軍事利用される技術は全て「軍民両用技術」である、という結果論的な認識を示した。

木村和尊氏は、国連軍縮会議で行われているLAWS（自律型致死兵器システム）の専門家会合を例に、国際人道法からの視点に加えて関連する技術として「ドローン」「AI」を挙げ、軍事転用される事で規制や管理の対象となりうる技術を「軍民両用技術」である、という認識を示した。

は、インフラの一部としてインターネットを身近に扱う市民と同じ空間でサイバー攻撃も行われ、それに対する防衛をする人がいる現状から、インフラでもあり戦場でもあるサイバー空間、それを支えるインターネットは最も身近で潜在的な「軍民両用技術」である、という認識を示した。

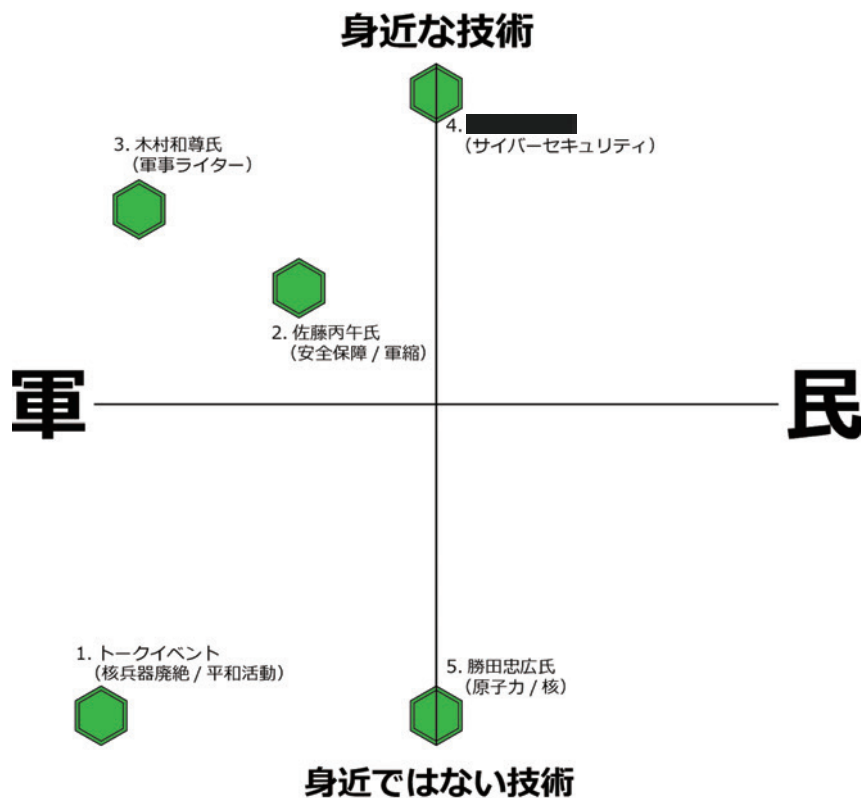
勝田忠広氏は、原子力の基礎にあたる技術に軍民の相違は無いが、目的は明確に異なり、軍民双方で厳しい規制がある点を踏まえて「軍＝国」「民＝電力会社」という認識を示した。また福島第一原発事故以降は停止している原発が多く、現状において社会生活をする上で電気を通じた間接的な身近さも皆無である、という考察も付け加えた。

本意識調査の結果から、それぞれの立場によって「軍民両用技術」に対する認識が視点、方向性、具体性といった広範囲に渡って異なる事が明確になった。それと同時に、この結果が示すのはキーワードとしての「軍民両用技術」に対する認識の曖昧さである。例えばテレビで「軍民両用技術という側面がある...」というコメントに対して、受け手である視聴者の認識は各自任意の解釈となる。このような現状で「軍民両用技術について議論する」としたところで曖昧な問題提起で終わるのは当然である。本調査の結果を踏まえると「軍民両用技術」についての表現及び議論の際には具体的な技術の名称や伝える側の認識を明らかにし、受け手との共通認識

を形成する「サイエンスコミュニケーション」²⁶のような手法が望ましいと考えられる。

7.</結果の比較>

1 から 5 の意識調査の結果を下記のグラフ図に示す。横軸は「軍」「民」、縦軸は「身近な技術」「身近ではない技術」となる。いずれも調査対象者の示した認識に基づいた配置である。この図からは調査対象者の立場、専門性、意識による「軍民両用技術」の認識の違いが明確に現れている。



²⁶ 科学のおもしろさや科学技術（ぎじゅつ）をめぐる課題を人々へ伝え、ともに考え、意識を高めることを目指した活動 | 文部科学省HP「見てみようサイエンスコミュニケーション」より抜粋
https://www.mext.go.jp/kids/find/kagaku/mext_0005.html

</技術的検証>

身近な民生技術の中で軍事利用、転用、または同様の名称（商標、商品名）という条件において、いくつかの技術を対象に技術的検証を行った。

この </技術的検証> は、前項目 </意識調査> で明らかになったキーワードとしての「軍民両用技術」に対する認識の個人差と曖昧さを補完する目的で、身近な技術について「軍民両用技術」の観点から技術的根拠を踏まえた定義や基準を求める事を目的とした。また、今回の技術的検証を通して明らかになった各技術における個別の課題についても示した。

</対象> ※印は実証実験の様子を各項目内QRコード及びURLから動画が参照可能

1. サーマルカメラ
2. コンピューター
3. 家庭用ゲーム機
4. スマートフォン※
5. 民生用ドローン※
6. ゴアテックス※

1. </技術的検証 | サーマルカメラ>

サーマルカメラは赤外線センサーで物質から放射される遠赤外線を検出・分析し、遠赤外線が強ければ温度が高く弱ければ温度が低い、という性質を利用して温度の強弱で色分けする仕組みである。この仕組みを利用して映し出される画像や映像を「サーモグラフィ」と言う。また他にも「サーモカメラ」「サーモグラフィカメラ」と様々な呼び方が存在するが、全て同一の意味であり同一の物を指す。

この技術は、医療、建築、軍事と様々な分野で使用されてきた実績があり、決して新しい技術ではないが、近年まで専門性や価格の高さもあり身近な技術とは言い難かった。

サーマルカメラの描写について、一般的に広く認知されたのは1987年に公開された大ヒットSF映画「プレデター」²⁷に登場する地球外生命体プレデターの赤外線を探知する能力として、サーマルカメラの映像（図1-1）²⁸がプレデター目線の描写として用いられた事が大きいと考えられる。例えば、インターネット検索で「サーマルカメラ」「サーモグラフィ」と入力した際の検索候補では必ず上位に「プレデター」と表示される点や、サーマルカメラ本体のレビューでも「プレデター」に言及するコメントを多く見受けられる点からもサーマルカメラの一般的な認知に大きな役割を担った事が伺える。



(図1-1)

²⁷ 1987年、ジョン・マクティアナン監督によって制作されたアメリカのSFアクション映画。主演はアーノルド・シュワルツェネッガーが務め、配給は20世紀フォックス。現在でも続編が制作されている。

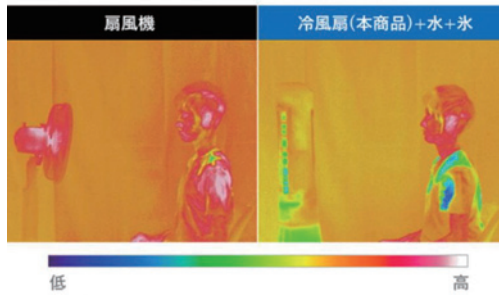
²⁸ 「プレデター DVDコレクション」(C) 2019 Twentieth Century Fox Home Entertainment LLC.

さらに近年では、スマートフォンへ組み込まれた機種や汎用的なUSB接続が可能な機器、中国製品の普及等により低価格化が進み以前にも増して普及した。民生利用ではテレビの通販番組で商品の効果を表す(図1-2)²⁹為に用いられたり、真夏の猛暑日における街の様子を伝える報道番組でも暑さを可視化する為に使用される事が多くなっている。(図1-3)³⁰また、ここ数年は新型コロナウイルス感染症対策として発熱者を特定する事を目的としたAI体温測定器³¹にも組み込まれ、特に多くの人が入り出す商業施設や病院の入口に設置されている事でより身近になっている。

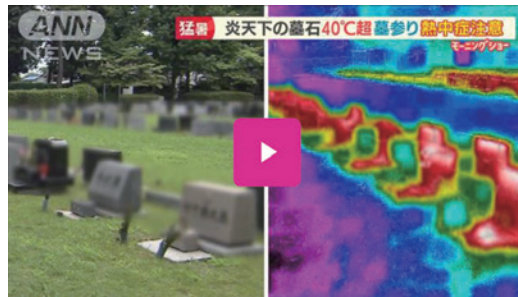
(図1-4)³²(図1-5)³³

涼しさが一目瞭然!

サーモグラフィで温度を比較



(図1-2)



(図1-3)



(図1-4)



(図1-5)

軍事利用においては、古くから航空戦闘機や無人機からの空爆(図1-6)³⁴やライフルに取り付けるサーマルスコープ(照準器)(図1-7)³⁵の映像や画像の印象が強く、その描写は現在でも映画やゲーム(図1-8)³⁶においても用いられる事が多い。

²⁹TBSショッピング「【特別価格】アルファックス・コイズミ 冷風扇/ACF-2101/W商品説明より
<https://shopping.tbs.co.jp/tbs/product/S2101396>

³⁰テレ朝ニュース「炎天下では“40度超” 墓参りで熱中症注意...「猛暑の登山」父娘で再挑戦 山頂は一変」より
https://news.tv-asahi.co.jp/news_society/articles/000259415.html

³¹サーマルカメラで取得した表面温度を基にソフトウェアで補正して体温を導き出す非接触体温測定器。

³²「掛川市役所にA I体温測定器」中日新聞(2020年7月7日) <https://www.chunichi.co.jp/article/84749>

³³AIサーマルカメラ【業界シェアNo.1】 <https://www.irisohyama.co.jp/b2b/camera/products/thermal-camera/>
 アイリスオーヤマ株式会社 AIカメラ・セキュリティカメラ事業部ウェブサイトより

³⁴CNN「米軍、I S I Sの化学兵器工場を空爆」(2016年6月14日) <https://www.cnn.co.jp/world/35089011.html>

³⁵サーマル暗視スコープ フリアースカウトII240 | 株式会社ワールド機器 | <http://worldkiki.com/?pid=67685636>

³⁶Call of Duty: Mobile | Thermal Scope | https://callofduty.fandom.com/wiki/Thermal_Scope

これら軍民それぞれの用途における相違点は特徴的なフィルター（色分け）である。民生利用では遠赤外線（温度）の強弱を詳細に表現する為に多色を用いたグラデーションで表現される場合が多いが、軍事利用の場合には人や物の存在を強調する効果として、白と黒の二色のフィルターや暗視効果を狙った緑がかったフィルター（図1-9）を用いる事が多い。



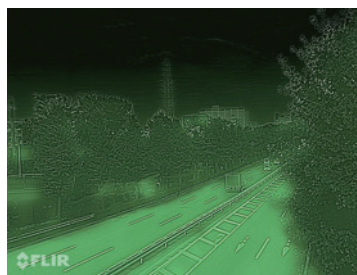
(図1-6)



(図1-7)



(図1-8)



(図1-9)

これらのフィルターによる印象の違いは、サーマルカメラに対する親和性や技術に対する認識に大きな影響を与えていると思われる。また、極端な例ではあるが上記で挙げたAI体温測定器においては、殆どの製品でサーマルカメラは内部の処理のみに活用され、体温測定の対象になる人に表示される画像はフィルターによる色分け処理がされていない。この点は、AI体温測定器にサーマルカメラが組み込まれている事を認識しづらくしている要因だと推測できる。

サーマルカメラ本体、いわゆるハードとしての軍民における性能や価格の違いについても比較した。軍事向けの機器図(1-10)³⁷は防水、防塵、耐衝撃といったMIL規格³⁸に沿った強靭性、鮮明さや描写に影響する高解像度、高フレームレートである。また、価格も数十万から数百万と高価格であり購入に際しては政府、法執行機関等に限定して、機器とその用途、目的毎に制約を設けている。³⁹

一方で民生向けの機器は、目的や用途に合わせた各種フィルターや管理分析するアプリケーション、USB端子といった汎用的な機能を備えつつも、数万円から数十万と軍事向けと比較して安価である。購入に際しても医療、工業、建設等の専門業

³⁷ TELEDYNE FLIR政府・防衛機関ターゲット特定ソリューション | <https://www.flir.jp/surveillance-targeting>

³⁸ アメリカ国防総省が制定する物資の調達に使われる規格の総称 | 英語 United States Military Standard
なお、民生用機器にもMIL規格準拠、MIL-STD-810といったMIL規格の基準に沿った強度テストを行った事を表す商
用の表記であり直接的には関係ない。

³⁹ TELEDYNE FLIR政府・防衛用ソリューション | <https://www.flir.jp/applications-government-defense>

者からオフィス用品店（図1-11）⁴⁰やアウトドアショップまで実店舗、インターネット通販を含め広く取り扱っており、購入時の制約も一部の商品を除き、国ごとに定められた輸出規制以外は特に求められていない。



(図1-10)



(図1-11)

</実証実験 | サーマルカメラモジュール購入から動作まで>

今回は実証実験として、上記で挙げた民生利用において特殊環境用スマートフォンやハンディタイプのサーマルカメラ、ドローン等、様々な機器に搭載及び組み込まれて製品化されている、組み込み用部品TeledyneFLIR（以降、テレダイン・フリーア）社の小型サーマルカメラモジュール「Lepton3.5」⁴¹（図1-13）を対象に購入から動作に至る工程を実証実験として行った。



(図1-13)

1) 購入準備

本実証実験で使用する部材は全てテレダイン・フリーア社製品の販売代理店であるコーンズテクノロジー株式会社の通販サイト⁴²で購入した。

同社では販売先を研究機関や企業のみ限定しており、個人としての購入は不可であった。さらにテレダイン・フリーア社製品の購入には「用途」「使用者」「使用場所」「防衛用途の有無」といった項目からなる申請書（図1-14）の提出が義務付けられ、この申請書類を提出してから約1週間後にメールで返答が届く事で

⁴⁰ 現場を支えるネットストア・モノタロウ | サーマルカメラ販売ページ | <https://www.monotaro.com/>

⁴¹ TELEDYNE FLIR Lepton | <https://www.flir.jp/products/lepton/?model=500-0771-01&vertical=lwir&segment=oem>

⁴² コーンズテクノロジー株式会社 | オンラインショップ | <https://ctl-commerce.com/>

発注が完了した事になる。既にこの時点で一般的な通信販売とは明らかに異なる。
 なお、購入価格は約4万円であった。

2. 最終用途：

例)

赤外線カメラの場合： 監視カメラ、基盤の温度異常検知等

その他の場合：xxxxxx

3. 防衛用途の有無：

※FLIR社製赤外線カメラの場合、防衛関連用途向けにはご販売が出来ません。

4. 量産企画台数：

5. 開発スケジュール：

(図1-14)

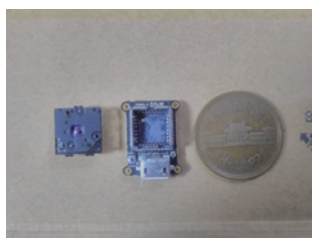
2) : 納品、検品

注文確認のメールが届いて2日後に納品された。Lepton3.5 (レプトン3.5) とサーマルウェブカメラモジュールPureThermalMini FLIR Lepton Smart I/O Module (ピュアサーマルミニ・フリーレプトン・スマートアイ・オーモジュール) は

(図1-15) (図1-16) 10円硬貨に収まる程の小ささである。



(図1-15)



(図1-16)



(図1-17)

3) 組み立て

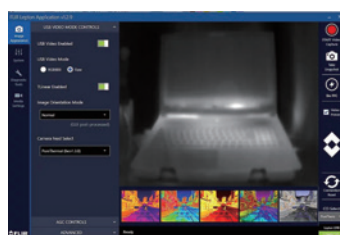
組み立ては簡単な説明のみ記載があるが、はめ込む先がマーキングされたラケット式になっており、押し込むだけで完了した。(図1-17)

4) 動作テスト

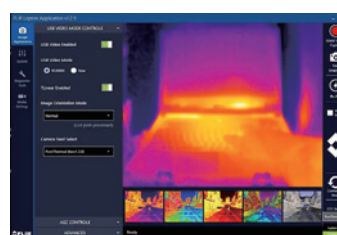
動作テストは対応OS(Windows、Linux、MAC、Android)の中から身近なWindowsで行った。テレデザイン・フリー社のウェブサイトからアプリケーションをダウンロードしてPC本体にインストールした。組み立てたサーマルカメラモジュールにUSBケーブルを挿入してPCと接続(図1-18)、アプリケーションを立ち上げると自動的に動作した。目の前にあるPCを映したが遠赤外線の強弱を表示している事が確認出来た。(図1-19) (図1-20)



(図1-18)



(図1-19)



(図1-20)

<得られた結果/考察>

1) から4) の工程から、購入時には「使用目的」「使用場所」「使用者」「防衛用途の有無」について回答が求められる等の制約がある反面、短時間で簡単に使用できる機器である事が明らかになった。この事は、このサーマルカメラモジュール自体は民生用ではあるが入手には一定の制約もあり、組み込む機器や用途次第では軍事転用及び軍事利用も可能な機微な技術である事を示している。

この結果から、軍民双方で要求される強度や品質は異なるが、物体が発する遠赤外線（温度）の強弱を可視化するサーマルカメラから得られる効果に相違は無く、軍民双方で実用性の高い「軍民両用技術」であると言い切れる。

<得られた課題>

本技術的検証においては、サーマルカメラの技術そのものとは異なる以下の課題が明らかになった。

1点目に、実証実験で購入したサーマルカメラモジュールが生産の工程で組み込まれた製品を購入する際には、本実証実験のような制約や条件が課せられないという点である。この同型のサーマルカメラモジュールが組み込まれた製品（スマートフォン⁴³、民生用ドローン⁴⁴、ハンディタイプのサーマルカメラ⁴⁵等）は、いずれもアマゾン、楽天といった通販サイトで購入可能である。また、購入の際にも、通常の決済以外に使用目的、使用場所、防衛用途の有無といった確認も必要とされていない。さらに調べると、ネットオークションやフリーマーケットアプリ等、匿名で取り引きが可能な場においても、購入可能である事が確認出来た。一方で、部品としてのサーマルカメラモジュールの入手を目的する手段として、組み込まれた製品を中古で安価に購入し、分解してサーマルカメラモジュールを取り出し他の機器や電子工作に使用及び転用する、といった手法が詳細に渡りネット上で公開されているという現状も明らかになった。一方で、オープンサイエンスという観点から捉えると望ましい事でもあるが、正式な購入方法における制約等を考慮すると、悪用されるリスクも十分に含んでいる点においては注視する必要があると思われる。

2点目は、先に触れたAI体温測定器についてである。普及したきっかけは新型コロナウイルス感染症対策であるが、この機器への信頼性もさることながら様々な場所に設置され、現在も稼働している安価なAI体温測定器に組み込まれているサーマルカメラ製造メーカーについては、他国も絡んだ大きな問題を抱えている実態についても示したい。

機器への信頼性については、官民間問わず広く普及している事によりSNS等を通じてAI体温測定器の誤測定に関する事例が数多く報告されており、技術的にも何らかの不安定要素を含んでいるのは周知の事実である。しかし、それ以上に重要な点がある。実は、このAI体温測定器（図1-21）に組み込まれているサーマルカメラ

⁴³Cat® S62 Pro | <https://www.catphones.com/en-gb/cat-s62-pro-smartphone/>

⁴⁴Parrot ANAFI-THERMAL | <https://kmttech.jp/drone/parrot-anafi-thermal>

⁴⁵TELEDYNE FLIR C3X | <https://www.flir.jp/products/c3-x/>

製造メーカーは、中国の監視カメラ大手ハイクビジョン社(杭州海健威視数字)⁴⁶である。

新型コロナ感染症が拡大する以前からアメリカ政府は、ハイクビジョン社が中国政府と関係が強い事を理由に安全保障上の脅威として認識していた。そして、2018年8月に可決した米国防法権限法(NDAA2019⁴⁷)において「同社の製品を使用する在米企業は、アメリカ政府機関とはいかなる場合においても取り引きが出来なくなる」という内容を含む規制を敷いたのである。その後も、中国国内やウイグル自治区での人々の監視に同社のカメラが使用されている⁴⁸事が取り沙汰されており、この製造メーカーに対する社会的信頼性にも疑問が生じる。

このアメリカ政府の規制に対して、日本政府も菅官房長官(当時)が記者会見⁴⁹の場で「米国と緊密に連携し、各省庁が連携して必要な取り組みを行っている」と述べてはいたが、その後も直接的な規制には至っていない。

さらに現在では、入口に同社のサーマルカメラが組み込まれたAI体温測定器を設置している省庁や国の施設も多数確認出来るが、設置に至る経緯等は不明である。また、現在でもOEM生産品⁵⁰を含めると複数の日本企業が販売(図1-22)を継続している実態がある。さらに同社の製品製造に欠かせないセンサー等の部品の供給元が日本企業⁵¹である事も踏まえて、引き続き注視が必要であると思われる。

このことから、安全保障上の理由で規制の対象に指定されている企業が製造する機器が組み込まれた、身近で接する機会が多いAI体温測定器等については、規制の対象にしているアメリカ政府が指摘する内容を改めて踏まえ、安全保障や人権、個人情報保護の観点から、設置場所も含めて別途検証が急務であると考えられる。

この課題が示すのは技術への理解と軍民両用技術に対する認識を改め、技術を巡る諸問題に対し、サーマルカメラのように可視化して考察する事の重要性である。



(図1-21) ※病院入口



(図1-22) 都内家電量販店入口

⁴⁶ 米商務省が中国監視カメラ大手を禁輸措置 | ニューズウィーク日本版 (2019年10月8日)
<https://www.newsweekjapan.jp/stories/world/2019/10/post-13130.php>

⁴⁷ 米国防権限法 2019 の概要 | 一般財団法人 安全保障貿易情報センター(2018年9月)
https://www.cistec.or.jp/service/uschina/5-ndaa2019_gaiyou.pdf

⁴⁸ 米、中国監視カメラ大手など禁輸ウイグル人弾圧で制裁 | 日本経済新聞 (2019年10月8日)
<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO50724910Y9A001C1000000/>

⁴⁹ 2018年12月7日 閣議後の記者会見

⁵⁰ Original Equipment Manufacturerの略称、他社ブランドの製品を生産する事を指す。

⁵¹ 中国監視カメラに日本部品 ウイグル弾圧で米制裁対象 | 東京新聞web (2019年11月26日)
<https://www.tokyo-np.co.jp/article/1840>

2. <技術的検証 | コンピューター>

コンピューターは軍事利用を目的に開発され、後に民生利用に転用されて発展してきた経緯⁵²を持つ「軍民両用技術」の代表的な存在である。この点は、一般的にも広く認知されていると思われる。しかし、その理解が深く浸透し過ぎている事によって、軍事=最新という概念を持ち続けている人⁵³も少なからず見受けられるが、現在ではコンピューター及び付随する技術は民生利用において発展させた後に軍事転用する、という流れが状態化している。したがって、コンピューター及び付随する技術においては軍事=最新ではなく、民生=最新という事になる。しかし、この点を詳細に渡って明確に示されているかといえは十分であるとは言い難い。

このような状況を踏まえ、民生用コンピューターと軍用コンピューターにおける性能や仕様を比較して、相違点を示す事を目的として技術的検証を行った。

比較対象として、軍民双方で同様の名称、例えばインテル(Intel)社製のCoreプロセッサシリーズやAIやゲーミングで有名なエヌビディア(NVIDIA)社製のGPU等、一般的に広く認知された部品を搭載している製品、機器を例として挙げる。

軍事用の例として、台湾の工業や交通インフラ、車載等で導入実績のある業務用コンピューター製造メーカーSINTRONES Technology (シントロンズ・テクノロジー)⁵⁴の戦闘航空機、戦闘車両用の軍用コンピューター⁵⁵「ABOX-5200G4」。

民生用の例として、ゲーミング用に特化した台湾のコンピューター、パーツ、周辺機器製造メーカーMSI (エムエスアイ)⁵⁶の「GS63 Stealth」。この2機種を例に比較した。

MILITARY COMPUTER SYSTEM



(図2-1) 軍用エッジコンピューター



(図2-2) 民生用ゲーミングラップトップ

この2機種(図2-1)(図2-2)⁵⁷が示すのは、形状は異なるものの搭載されている部材においては同一の名称である。

しかし、異なる大きな点がスペック以外に存在する。それは発売時期(流通、販売時期含め)である。軍事用のシントロンズ社「ABOX-5200G4」は現在(2022年5月現在)においても現行品として同社のウェブサイトで紹介されている。一方で、エムエスアイ社「GS63Stealth」の発売は2018年5月である。現在は既に生

⁵² 戦時中に産声をあげたコンピュータの原風景 | IBM総合情報サイト | <https://www.i-cafe.info/column/serials/offcon001>

⁵³ 学術の動向22巻7号「軍事と科学—21世紀社会に科学者に問われるもの」池内了 著 |

https://www.jstage.jst.go.jp/article/tits/22/7/22_7_40/_pdf/-char/ja

⁵⁴ SINTRONES Technology | <https://www.sintrones.com/index.html>

⁵⁵ SINTRONES Technology | Military Computer | <https://www.sintrones.com/military-computer.html>

⁵⁶ MSI | <https://jp.msi.com/>

⁵⁷ MSIゲーミングノート GS63 Stealth 8RE GS63-8RE-100JPAK | 秋葉原アーク | <https://www.ark-pc.co.jp/i/72000901/>

産が終了しており、中古品以外の入手は不可能である。この事から年数にして約4年の間隔があり、インテル社製CPU「Core i7」も現行品は第12世代⁵⁸シリーズとなる為、その差においても4世代は開いている事になる。

さらに現行の軍事用コンピューターの中には用途や目的によって第6世代、第5世代（図2-3、4）を搭載した機種も販売されており、平均的に主要部品においては民生品と比較して4～7世代古いという事が明確である。



NANOPAK I7

Intel® 6th generation Core™ i7 processor, up to 32GB DDR4 memory and 1TB FLASH storage

(図2-3)⁵⁹

CIOV-2231 3U OpenVPX Single Board Computer with BuiltSAFE



Intel® Core™ i7 Gen 5 CPU, 16GB DDR3, PCIe 3.0, 45W, DO-254 and DO-178 artifacts

(図2-4)⁶⁰

<得られた結果/考察>

軍事用コンピューターで古い世代の主要部品を使う理由としては、連携する機器との互換性や処理速度よりも安定性を重視する傾向にあると推測できる。その点においては、インフラや工業等と同様であると思われる。

一方で、民生用の最新のコンピューターにおいては、アップデートを通じて脆弱性や不具合対応が定期的に行われる。安定性を重視した場合、既に脆弱性や不具合への対応、もしくは民生利用時の不具合発生率の低さ等を加味した上で主要部品の選定をしていると推測できる。この点は、他の軍事用コンピューター製造メーカーのラインナップを見ても、明らかに特定の主要部品に絞って採用している事から見て取れる。

この結果から、軍事用コンピューターは民生用よりも4～7世代古い主要部品を採用しており、民生利用時のフィードバックが軍事利用時に反映されている事を示している。

コンピューターは元々軍事から民生用に転用され、広く使用されて発展してきた技術であり、近年は民生利用におけるフィードバックを踏まえて軍事利用する流れが定着している。また、機器における軍事用と民生用の相違点として、強靭性や形状以外にも目的や用途に直結する処理速度や性能に直結する主要部品の世代におけ

⁵⁸ 第12世代インテルCoreプロセッサ特集 | 秋葉原アーク | <https://www.ark-pc.co.jp/special/intel-12th-gen-core-series/>

⁵⁹ NANOPAK I7 | Mercury Systems, Inc. | <https://www.mrcy.com/products/rugged-servers-and-subsystems/rugged-small-form-factor-computers>

⁶⁰ CIOV-2231 3U OPENVPX SINGLE BOARD COMPUTER WITH BUILTSAFE | Mercury Systems, Inc. | <https://www.mrcy.com/products/boards/single-board-computers/ciov-2231-3u-do-254-board>

る新旧という明確な相違が存在する。この事は民生技術の軍事転用という側面も明確に示している事になるが、開発（軍）→転用（民）→発展（民）→転用（軍）というサイクルは、まるで栽培漁業⁶¹のような印象を受ける。

「軍が放った稚魚を民間で育てて、軍に出荷する」もしくは「軍事生まれの民間育ち」このような例えがしっくりくるのではないだろうか。少なくとも、現在の軍事用コンピューターは民間が育てた技術である事は事実であり、この状況に至ってもなお「コンピューターは軍が開発した…」という過去から脱却しきれない、軍＝最新という論調は技術を扱う者として責任放棄に近い印象を受ける。

この結果から、現在のコンピューターは民間で育てて、軍に出荷し続ける軍民両用技術である事が明確になった。

<得られた課題>

今回の技術的検証では軍事用の例として戦闘航空機や戦闘車両に搭載されるコンピューターを対象としたが、サイバー攻撃に使用されるコンピューターやミサイル、徘徊型UAVといった兵器に実装されている小型コンピューターについても触れておきたい。

サイバー攻撃に使用されるコンピューターは、本技術的検証で検証したような軍事用に限定する必要性がない。どちらかという、民生用の特に処理能力が高い機種を選択していると思われる、この視点から言えば軍民の相違は無い。

一方で、ミサイルや徘徊型UAV（軍事用自爆ドローン）といった小型から中型の兵器に実装されている小型コンピューターについては、スペックが公開されない限り検証のしようがなく、原則として非公開な類であるがロシアのウクライナ侵攻が進む中、墜落あるいは撃墜された残骸の映像、画像の多くがインターネットやSNSで共有された事で多少の検証が可能になった。

ロシア軍が使用する徘徊型UAVクブラ⁶²（KUB-BLA）の残骸の内部からは、民生品では既に廃止されたコネクターや10年以上前に社名変更したメーカーの旧社名が印字されたパーツが確認できた。また、アメリカ軍がウクライナ側に提供した自爆突入型UAVスイッチブレード300⁶³（Switchblade300）の残骸の画像からは、約7年前のスマートフォン等に搭載されていた部材の搭載が確認できた。これらの兵器に実装されているコンピューターは、今回の技術的検証で扱ったコンピューターよりも更に古いコンピューターが搭載されている事が判明した。これらの点を踏まえると、国連軍縮会議で続いているLAWS（自律型致死兵器システム）の政府専門家会合のように、現在は実用化されていない技術について議論をする際にも「民生利用において実用化された技術が、何年後に兵器システムに使用可能か?」「現行の民生用コンピューターで可能な処理は何年後に、どのような形で軍事利用されるだ

⁶¹ ホームページ「キッズページ：魚を増やし育てる」 | 国立研究開発法人 水産研究・教育機構 | https://www.fra.affrc.go.jp/forkids/kids_aquacult.html

⁶² ロシアの「自爆型ドローン」が、「AIと武器の融合」の危険性を改めて浮き彫りにしている | WIRED JAPAN | <https://wired.jp/article/ai-drones-russia-ukraine/>

⁶³ Switchblade 300 | AeroVironment, Inc. | <https://www.avinc.com/tms/switchblade>

ろうか？」というように、技術的な根拠を基に現実的な予想や発案が可能であると考えられる。

民生利用においても、国や企業が示す技術に関連する政策や、近未来へのビジョン、例えば自動運転や自律型ドローンの輸送等が実用化されるまでの現実的なロードマップと先を見越した法整備といった、より実践的な視野が持てる筈である。

この技術的検証を通して得た課題とコンピューターに対する観点は、コンピューターを生活必需品として使い利便性を得る事は、軍への出荷に向けて育てる事、という事実である。この事を自覚する事は、技術の発展に伴い求められる倫理という視点においても重要だと思われる。

3. <技術的検証 | 家庭用ゲーム機>

家庭用ゲーム機は、本調査研究の着想に強く関係するテーマでもある。ここでは軍民両用技術の観点から、家庭用ゲーム機を軍事転用して実用化された事例と、現行の家庭用ゲーム機の比較を通して技術的検証を行った。

2006年11月に発売された家庭用ゲーム機 ソニー・プレイステーション3（以降、PS3）⁶⁴は、プレイステーション2（以降、PS2）⁶⁵の後継機として開発され、ソニー、IBM、東芝の3社によって共同開発された高性能マイクロプロセッサ Cell Broadband Engine(以降、Cell、セル)⁶⁶の搭載や、発売当時は最新技術でもあったブルーレイの搭載により高精細のゲーム描写で話題になった。生産の遅れによる品薄状態を繰り返しながらも着実に普及していった。発売から約3年後の2009年に薄型に改良され、価格も安価に改定したマイナーチェンジ版を発売した事によりさらに普及した。

そのタイミングに合わせるように、アメリカ空軍が約2500台のPS3取得を発表した⁶⁷。もちろんゲームをプレイする為ではなく軍事シミュレーションを行うスーパーコンピュータ（以降、スパコン）開発のため、とした。目的は、PS3に搭載された高性能プロセッサCellである。このCellを搭載したサーバーを調達するコストと比較して、PS3を調達するコストの方が10分の1程度安価だったとされている。また、後のアップデートで一般的には削除⁶⁸される事になるが、発売から数年間はPS3にユーザー自身が自由に開発出来る環境の提供を目的として、オープンソースOS Linux（リナックス）⁶⁹が使用可能であった点も関係している。

⁶⁴PS3が発売15周年。Blu-ray採用&ネットワーク機能強化の当時の最先端マシン。 | ファミ通.com | <https://www.famitsu.com/news/202111/11240191.html>

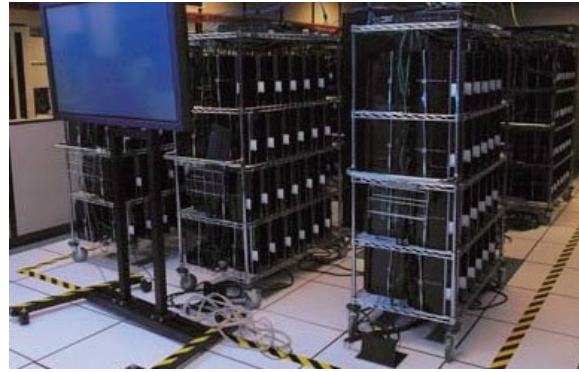
⁶⁵ 発売22周年を迎えたPlayStation®2の誕生秘話 | Sony Interactive Entertainment Inc. | <https://www.sie.com/jp/blog/2022/03/28/playstation2-22nd-anniversary/>

⁶⁶ プレステ3に搭載、断トツ性能の「Cell」はITシステムを変えるか | ITmedia、Inc. | <https://atmarkit.itmedia.co.jp/news/200609/27/cell.html>

⁶⁷ アメリカ空軍が2500台ものPS3を調達した理由とは？ | ねとらぼ | <https://nlab.itmedia.co.jp/games/articles/0912/16/news083.html>

⁶⁸ 「PS3でLinux」が不可能に | ITmedia、Inc. | <https://www.itmedia.co.jp/news/articles/1003/29/news068.html>

⁶⁹ Linuxとは？ | DZnet JAPAN | <https://japan.zdnet.com/keyword/Linux/>
1991年にフィンランドのLinus Torvalds氏が開発した、UNIX互換のOSである。Linuxとはカーネル（kernel）と呼ばれるOSの核を意味したが、Linuxカーネル上のシステムを指すことが一般的である。

(図3-1) ⁷⁰(図3-2) ⁷¹

その後、2010年12月にアメリカ空軍は「CONDOR CLUSTER（コンドルクラスタ）」と名付けた合計1760台のPS3を並列に繋いだスパコンの完成と運用開始を発表した。⁷²

処理速度もさることながら開発費用2200万ドル（日本円で約1億6500万円※当時）という破格の低コストにも注目が集まった。

その点においては、日本で当時の民主党政権⁷³が行った「事業仕分け」⁷⁴で話題になったスーパーコンピュータ開発予算が209億円（平成22年度予算案）であった事からも、コストに注目が集まって当然だといえる。その後は、各種シミュレーションや人工知能の研究、画像解析、無人航空機の航路管理等に使われていたとされている。この事は、家庭用ゲーム機が軍事転用された事例というだけではなく、家庭用ゲーム機が軍民両用技術である事に加えて、当時の日本は確かに技術大国であった事の記録という側面でもある。

一方で、この実例を消費者の立場から考えてみると、単に家庭用ゲームを購入したら後に軍事転用された、という事を理不尽に感じる人も少なからず存在した。例えば、軍事に嫌悪感を抱く消費者にとっては回避不可能な事態であった事は言うまでもない。実はこれこそが、軍民両用技術の本質的な複雑さの最たる例だと考え、本調査研究の着想に繋がった点である。

それでは、より高機能になった現行の家庭用ゲーム機も同様に軍事転用の可能性はあるのだろうか？2020年11月に発売され、現在も品薄状態の続く家庭用ゲーム機ソニー・プレイステーション5（以降、PS5）とマイクロソフト・エックスボックス/シリーズX（以降、Xbox X）を対象に技術的検証を行った。

⁷⁰ Sony Interactive Entertainment Inc（初期型PS3）

⁷¹ 米空軍研究所がPS3で構築したクラスタ（ネットワークに接続した複数のコンピューターを連携して一つのコンピューターシステムに統合したシステム） | US Air Force |

⁷² 1760台のPS3で作られた、アメリカ空軍の格安スパコンが正式稼働開始 | ねとらぼ | <https://nlab.itmedia.co.jp/games/articles/1012/07/news066.html>

⁷³ 2016年に解党、現在の立憲民主党と国民民主党の前身

⁷⁴ 事業仕分け 身内からも批判 コスト最優先の矛盾 本当のムダ切り込めず | しんぶん赤旗 | https://www.jcp.or.jp/akahata/aik10/2010_11_21/2010112102_01_1.html

<得られた結果/考察>

発売から約1年半が経過するが、品薄状態の解消に至っていない。この点においては、例えばアメリカ軍であっても調達は不可能に近い。現実的な購入方法として、家電量販店の抽選販売もしくはネットオークションやフリマアプリでの高額転売者からの購入、という状態である。この事から運よく抽選販売で入手した知人からの使用感について訪ねた。

近年のゲームがクロスプラットフォーム⁷⁵化した事と前世代機ソニー・プレイステーション4（以降、PS4）との互換性の関係でPS5専用のゲームが少なく、性能を実感出来ているかは不明であるとの見解を得た。（2021年6月現在）



PLAYSTATION 5	VS	XBOX SERIES X
8x Zen 2 Cores at 3.5GHz (variable frequency)	CPU	8x Zen 2 Cores at 3.8GHz (3.6 GHz with SMT)
10.28 TFLOPs, 36 CUs at 2.23GHz (variable frequency)	GPU	12 TFLOPs, 52 CUs at 1.825GHz, Custom RDNA 2
16GB GDDR6/256-bit	MEMORY	16GB GDDR6
448GB/s	MEMORY BANDWIDTH	10 GB at 560GB/s, 6 GB at 336GB/s
4K UHD Blu-ray Drive	OPTICAL DRIVE	4K UHD Blu-ray Drive
Custom 825GB SSD	INTERNAL STORAGE	1TB Custom NVMe SSD
NVMe SSD Slot	EXPANDABLE STORAGE	1TB Expansion Card

(図3-3)

次に、スペック比較表（図3-3）⁷⁶を検証した。PS5、Xbox-X共にゲーム機にとっての要の重い処理や高精細な描写を担うCPU、GPUといった主要部品が自社開発ではなく、2機種共にアメリカの大手半導体企業AMD社（以降、AMD）の市販シリーズRyzenやRadeonをベースにカスタムした特注品を使用している。スペック的には市販の同社パーツと同等の処理能力であると思われる。また、このスペックを基に検証すると発売当時の市販のゲーミング向けデスクトップコンピューターの中

⁷⁵ ゲーム機及びPC、スマートフォン等、異なるOS、ハードを用いてサーバを通してオンライン上で同じゲームをプレイする環境。代表的なタイトルとして「フォートナイト」「コールオブデューティー」シリーズ等がある

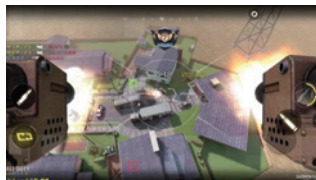
⁷⁶ Xbox Series X vs. PS5: Which Features Set Each Console Apart? | Den of Geek | <https://www.denofgeek.com/games/xbox-series-x-vs-ps5-features-comparison/>

ではミドルクラス、価格にすると約15万円程度の機体に置き換える事が出来る。この事は、ゲームのみを目的とした場合にはゲーミングPCを購入するより現行のPS5及びXbox-Xを購入した方が安価である、という事がいえる。すなわちPS3に搭載されていたCellのような驚異的な処理能力や独自性を有しておらず自社生産でもない。このような点から、この2機種に搭載された主要部品は、いずれも汎用品もしくは汎用品をベースにした特注品である事から、処理能力を目的とした軍事転用の可能性は極めて低いといえる。また、コスト面においてもPS5及びXbox-Xを調達せず、主要部品の供給元であるAMDから直接調達した方が安価である事は明らかである。公開されているスペックから処理能力と調達コストについての技術的検証を行った結果、現行の2機種を用いた大規模な軍事転用の可能性は極めて低い、という事が明らかになった。

<得られた課題>

本技術的検証の結果はあくまでも大規模な軍事転用と特定のゲーム機、いわゆるハードに限定している事から、ゲームという大きな括りに対しての結果を示せていない点には留意が必要である。例えば、アメリカ陸軍はゲームを開発し、外部向けのイベントや大会を開催した過去⁷⁷もあり、さらにゲーム機の性能とは直結しないゲームコントローラーのみを潜水艦の操縦に転用⁷⁸している事も公になっている。

一方で民生利用の現状は、現在の人気ゲームの主流がFPS⁷⁹であり、その多くはリアルな描写の戦争及び戦闘をテーマにした内容である。現在はe-Sports（eスポーツ）として国際的に競技化された事によるプロ化や、高額賞金を懸けた大規模な大会が開催される等、子どもから大人まで年齢に関係なく多くの人が夢中になっている現状がある。日本においても少なからず問題は発生しているものの、罰則が無い事から推奨年齢を無視する形で主に小学生から大人まで興じているのが現実である。⁸⁰その背景には、ゲームのクロスプラットフォーム化が大きな役割を果たしている。実際に取材をした小学生においては、ゲーム内に出てくる実在する兵器を基にした仮想の兵器を操る事で、実際の兵器システムそのものにも詳しくなっている現状が垣間見える。



(図3-4、5) 小学生のゲームプレイ画面 ※QRコードより動画視聴可能⁸¹

⁷⁷ “アメリカ陸軍製”FPS、20年の歴史を経てサービス終了へ。米国民の賛否を呼んだ問題作に幕引き | AUTOMATON | <https://automaton-media.com/articles/newsjp/20220209-191556/>

⁷⁸ 米海軍の潜水艦では、12年前のXbox 360のコントローラーが活用されている | gizmodo.jp | <https://www.gizmodo.jp/2017/10/us-navy-xbox-360-controller.html>

⁷⁹ ファーストパーソン・シューティングゲーム（英: First-person shooter、略称FPS）、プレイヤーが操作するキャラクターの視点（First-person）でプレイするゲームの総称

⁸⁰ 【フォートナイト事件簿】ママたちへ緊急アンケート！超人気ゲームを巡る小学生のトラブルあるある | 特選街Web | https://tokusengai.com/_ct/17491052

⁸¹ 動画資料 | 明治大学POLARIS | <https://www.polaris-meiji.org/proj-2021-dut-game>

さらに他方で、従来とは異なる形での軍事転用が明らかになっている。イスラエルの次期戦闘車両の開発者が明らかにしたのは、人気シューティングゲーム⁸²の動きをAIに学習させて自動操縦システムに組み込んでいる実態である。⁸³

この事は、従来のようなゲーム機いわゆるハードではなく、人間がゲームをプレイするデータを学習させたAIを兵器に実装しているのである。攻撃のプロセスに関与しない事からAI兵器の類からは外れるが、従来とは異なる転用方法である事は確かである。



(図3-7)⁸⁴



(図3-8)⁸⁵



(図3-9)⁸⁶

この技術がどの程度実用化されたのかは明らかではないが、今後はこの事例のように潜在的に軍事転用が進む可能性は否定できない。この事はハードの転用からソフトの転用に移行したという単純な事ではなく、ゲームをプレイする人のデータつまりオンラインゲームを想定すると、ゲームをプレイする誰しもが対象になる可能性を示唆している。さらに、ゲームのプレイをAIに学習させる行為そのものに対応できる制約もルールも見当たらない事から、ゲームを楽しむ幅広い年齢層のユーザーが自覚もなく自身のプレイデータが軍事転用される可能性を示している。例えば、プロゲーマーのプレイデータを学習させたAIを兵器に実装する事は技術的に可能である。但し先に挙げたLAWS（自律型致死兵器システム）よりも遙か手前にある技術、という点だけは念を押して指摘しておきたい。

家庭用ゲームはハードからソフト、そしてユーザー、すなわちプレイヤー自体も間接的に軍事転用可能であるという結果を踏まえると、ゲームをプレイする全ての人間のスキル（技術）が軍民両用技術であると言い切れる。

4. <技術的検証 | スマートフォン>

所有率は既にコンピューターを上回り生活必需品の中でも財布と並ぶ携行品として存在感を示すスマートフォン⁸⁷。現在では通信機器という概念を超える拡張性や他の機器との連携機能を踏まえると、小型コンピューターという見方も出来るが、さらに異なる側面も持ち合わせている。また、これまでの項目で取り上げたコンピューターやゲーム、後の項目のドローンにも関連する要の技術であり、既に軍民

⁸² StarCraft II | BLIZZARD ENTERTAINMENT | <https://starcraft2.com/en-us/>

⁸³ イスラエル軍の次世代戦車は「Xboxのコントローラー」で操縦される。装甲車両のAIを育てたソフトは、あの老舗 RTS | AUTOMATON | <https://automaton-media.com/articles/newsjp/20200730-132274/>

⁸⁴ StarCraft II | BLIZZARD ENTERTAINMENT

⁸⁵ イスラエル北部エリヤキムで、カルメル計画の試作機のデモンストレーションを行う開発企業の社員 | (c)JACK GUEZ | AFP

⁸⁶ CARMEL | DESIGN | BR PRODUCT DESIGN

⁸⁷ 令和2年 情報通信白書 | 情報通信機器の保有状況 | 総務省 | <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r02/html/nd252110.html>

双方で多種多様に活用されている実態がある。ここでは軍民双方で共通する活用方法を例に、発展を続けるスマートフォンに対して軍民両用技術の観点から技術的検証を行い現状や課題を示す。

近年のスマートフォンの存在は通信機器、コンピューター、カメラ、ゲーム機、決済端末、健康管理、連携機器におけるコントローラー等々、ユーザーの多種多様な要望に応えるべく活用されている。機種においては、Apple社のiPhone（以降、iPhone）とGoogle社のAndroid（以降、Android）と大きく2つに分類出来る。とりわけAndroidについてはOSがオープンソース化されている⁸⁸事で多くのメーカーが参入しており、年に数回の頻度で新機種をリリースしている。

本技術的検証では、オープンソース化されている点や軍民含め様々なメーカーが参入している点に着目して、Androidスマートフォンを対象に技術的検証を行った。

改めて注目すべきは通信機器に分類されてはいるものの、その多様な用途と拡張性である。さらに現在では、スマートフォンを中心に技術の新陳代謝ともいえるような動向が確認出来る。例えば、従来は電話機能が担ってきた音声通話はデータ通信を利用した音声通話対応のチャットアプリに、そしてテレビやDVD等のメディアプレイヤーが担ってきたニュースや映像エンターテインメントも動画共有サイトや月額制動画配信サービスに、それぞれがスマートフォンの中で入れ替わっている。この事は、通信キャリア各社のデータ通信に重点を置いた料金プランの多さが現状を表している。

ハードとしては、コンピューターの基本的な機能に加えGPS機能や様々な機能を付加した高性能カメラ、物体の傾きや回転を検知するジャイロセンサー、レーザー距離計や空気質センサーが装備された特殊環境向けの機種⁸⁹（図4-1）から、高速処理と冷却性能を付加したゲーム専用機種（図4-2）⁹⁰等、通信機器にもコンピューターにも当てはまらない、いわば複合型デジタル機器として多方向に発展を続けている。



(図4-1)



(図4-2)

⁸⁸ Android とは | Android | https://www.android.com/intl/ja_jp/what-is-android/

⁸⁹ CAT S61 | Kanematsu Communications | <https://www.kcs.ne.jp/lp/cat-s61/>

⁹⁰ ROG PHONE 5 | ASUS | <https://rog.asus.com/jp/phones/rog-phone-5-model/>

特に着目すべきは、前項目のコンピューターで示した、軍事利用と民生利用による機種や主要部品の新旧といったハードに起因する性能の相違が存在しない点である。あえて挙げるのであれば、外観の差である。

兵士が胸に装着している(図4-3)⁹¹スマートフォンを装着する為の専用アタッチメント(図4-4)⁹²と、軍事用途にも耐えうる耐衝撃性を持つケース(図4-5)⁹³で囲っているがスマートフォンそのものは民生品(民生品特注含み)⁹⁴である。



(図4-3)



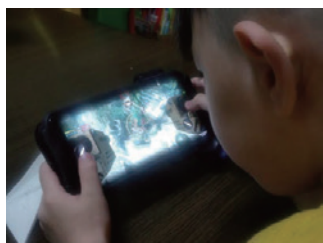
(図4-4)



(図4-5)



(図4-6)



(図4-7)



(図4-8)

また偵察用のドローンやロボットの操縦においては、ジョイスティックや物理ボタンが配置されたコントローラー(図4-6)⁹⁵をスマートフォンにケースのように装着して使用している。その外観はスマートフォンでゲームに興じる子供⁹⁶(図4-7)と殆ど変わらない。さらに、スマートフォンでゲームする子供が取り付けているのも軍事用と同様の機能を持ったコントローラー(図4-8)⁹⁷である。また前項目「技術的検証 | 家庭用ゲーム機」でも触れたように、兵士が偵察用ドローンを操縦するように、子供はFPSゲームの中でドローンや遠隔兵器をコントロールしている。実はこの点が重要である。

一方で、「技術的検証 | 家庭用ゲーム」でも触れたが、ゲームのクロスプラットフォーム化が定着した近年はゲームをプレイする為のハードの選択肢に家庭用ゲーム機、ゲーミングPCに加え、ゲーミング及びゲーム向けスマートフォン⁹⁸も入る事

⁹¹ PALS Armor Plate Carrier Phone Mount | JUGGERNAUT.CASE |

<https://shop.juggernautcase.com/products/pals-armor-plate-carrier-phone-mount.html>

⁹² CONTROLLERS | Tomahawk Robotics, Inc | <https://www.tomahawkrobotics.com/controllers>

⁹³ ADMIN POUCH | Crye Precision LLC | https://www.cryeprecision.com/ProductDetail/mps08502000_admin-pouch

⁹⁴ 民生品の特注品も存在するが、OS、主要部品は同一であり、機能的には同等である。

⁹⁵ Tomahawk Robotics Awarded RAID Program Contract with U.S. Marine Corps | Defense Advancement |

<https://www.defenseadvancement.com/news/tomahawk-robotics-awarded-raid-program-contract-with-u-s-marine-corps/>

⁹⁶ 取材した小学生の下の兄弟がゲームをしている様子(当時5歳)

⁹⁷ ROG PHONE Aero Case | ASUS | <https://rog.asus.com/jp/phones/rog-phone-5s-pro-model/>

⁹⁸ スマートフォンの中でも高スペック、特に英、Qualcomm社が製造、供給しているSoC (System on a Chip : CPU、GPU、メモリ等を組み込んで一体化させたプロセッサ) Snapdragonシリーズが最も処理能力に優れており、Androidスマートフォンの中でもゲーミング及び各メーカーのフラッグシップ機種その他、MS社のARヘッドマウントディスプレイHOLO LENS等の小型デバイスに搭載されている。

商品名は「Snapdragon800」という表記で後ろの数字が機種型番を表す。

になる。前項目「技術的検証 | 家庭用ゲーム機」に引き続き取材した小学生も、ゲーミング向けスマートフォンを使用して家庭用ゲーム機や携帯ゲーム機を使う友人とオンラインゲームをプレイしている。

このスマートフォンを購入⁹⁹した理由について、購入者でもある保護者に話を伺うと、5万円程度の家庭用ゲーム機や3万円程度の携帯ゲーム機¹⁰⁰と比べてゲーミング用スマートフォンは約10万円と高価だが、購入と同時に通信キャリアと契約する事で得られるキャッシュバックと家電量販店のポイントを併用する事で価格が約4万円に引き下げられた点に加え¹⁰¹、電話や位置情報といった防犯の観点から購入を決めたとの事であった。この実例は、ゲームを目的とする子供と連絡手段や防犯を目的とする保護者の異なる目的を1台で実現するスマートフォンがマルチデバイスである事を明確に示している。

さらに、このスマートフォンの特性として着目したいのが、スタンドアローンいわゆる外部通信用の電波を利用せずスマートフォンと他の機器との間で各々のWiFi電波やBluetoothを用いて直接リンクさせる使い方である。スマートフォンをドローン（小型クワッドコプター）とリンクさせた上での操縦や画像撮影等のコントロールを行う。ドローンの詳細については以降の項目「技術的検証 | ドローン」で触れている為、ここではスマートフォン側の機能のみ検証する。スマートフォンとドローンの接続は各々のWiFi電波と専用のアプリを経由して接続され、双方向の通信を行う。また機器同士がダイレクトにリンクされる為、基地局電波が届かない圏外の場所であってもドローンの操作は可能である。また、すでに上記で挙げたようなコントローラーをスマートフォンとUSBやBluetoothを用いてリンクしてドローンの操縦を行う事は軍民双方で一般的である。（図4-9、10）さらに、最近ではドローンとスマートフォンのリンクにデータ通信SIMカードを接続して4Gモバイル回線を利用した遠隔操作に向けた取り組み¹⁰²が始まっている。

スマートフォンには軍民による技術的な相違は殆ど見受けられない。このような事から、広い世代において所有率の高い身近な軍民両用技術であるといえる。



(図4-9) ¹⁰³



(図4-10) ¹⁰⁴

⁹⁹ 未成年は通信キャリアと契約が出来ない為、使用者が未成年の場合の名義は保護者となる。

¹⁰⁰ 任天堂Switch全バージョン実売価格21,600~42,000円（2022年2月現在）

¹⁰¹ 改正電気通信事業法による規制で現在は通信契約による携帯端末の割引額は上限2万円とされているが、契約する店舗（家電量販店等）の独自ポイントを併用する等して規制を回避しているのが実態である。

¹⁰² LTE上空利用プラン | NTT DOCOMO | <https://www.docomo.ne.jp/charge/lte-joukuriyou-plan/>

¹⁰³ Controller | Skydio Inc. | <https://shop.skydio.com/products/skydio-controller>

¹⁰⁴ ANAFI USA | Parrot | <https://www.parrot.com/us/drones/anafi-usa>

<得られた結果/考察>

スマートフォンは、軍民共に本来の通信機器という枠を飛び越えて他の機器と連携を図りながら進歩する、誰にでも身近な技術と言っても過言ではない。特に近年は全ての年代において普及しており、通信キャリアの契約以外には使用者に対する制限が無い点もスマートフォンの特徴である。

さらに、軍事利用において偵察用ドローン等を操作する兵士と、ゲームの中で兵器やドローンを操作する子供を比べると、現実と仮想という点で異なるが外観の他にスマートフォンの用途、動作といった点でも技術的な差は無い。また、例に挙げたドローンとの接続（リンク）の方法においても、軍民双方で技術的に大きな差は見当たらない。これらの結果から、社会生活において最も身近なスマートフォンは軍事利用と民生利用の間に技術的な境界線が存在しないボーダレスな軍民両用技術であり、その身近さから「ポケットの中のデュアルユース（軍民両用技術）」¹⁰⁵という例えがしっくり来るように思える。

<得られた課題>

本調査研究において、スマートフォンは何よりも身近な軍民両用技術であると位置付けているが、実はこの点に関して現在も続くロシアによるウクライナ侵攻において、今後の争点ともなる課題を含んでいるのである。例えば、ウクライナの市民が偶発的に見かけたロシア軍の位置情報をスマートフォンを使いウクライナ軍に提供¹⁰⁶した場合、これを戦闘行為とみなすか否かという点について、本調査研究の意識調査でご協力いただいた軍事ライターの木村和尊氏や他の国際法の専門家も同様の見解を示している。¹⁰⁷これは兵器、武器を持たずにスマートフォンを使って軍に情報共有をただけで戦闘行為に加担及び協力したとみなされ、攻撃目標になる可能性を示唆しているとも言える。どのように判断されるかは今後の進展を見守る必要があるが、そのような論考や議論に及んでいる点においても、ウクライナ市民によるスマートフォンを用いた抵抗がロシア軍に対して一定の効果があった事を裏付けている。¹⁰⁸

この事は本調査研究とは関係なく、奇しくもロシアのウクライナ侵攻の最中においてスマートフォンが実際の戦場で市民の手によって使用され、戦況に一定の影響を与えた身近で誰にでも扱える軍民両用技術である事を示唆している。この視点や意識は、スマートフォンを持つ多くの人に理解される事が望ましい。

¹⁰⁵ 1989年にオリジナルビデオアニメとして発売された『機動戦士ガンダム0080 ポケットの中の戦争』（原作：矢立肇、富野由悠季、監督：高山文彦 製作：サンライズ、バンダイ）の内容から、主人公が小学生（非戦闘員）という点に着想を得て「ポケットの中の～」を使用した。

¹⁰⁶ ウクライナ市民が「SNS抵抗戦」 戦車位置など軍に提供 | 日本経済新聞 | <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOGR133A10T10C22A3000000/>

¹⁰⁷ 市民たちのドローン戦争－ウクライナにおけるロシアへの抵抗の一側面 牧田純平 | 先端技術安全保障研究所 | <https://www.giest.or.jp/contents/reports/mj20220526.htm>

¹⁰⁸ ウクライナ侵攻、スマホで見る現代戦の本質 福田充・日大教授 | 毎日新聞 | <https://mainichi.jp/articles/20220415/k00/00m/030/092000c>

5. <技術的検証 | 民生用ドローン¹⁰⁹>

ドローンと呼ばれる物には軍民双方において様々な形状、大きさ、用途の機種が存在する。日本では2015年4月22日に首相官邸に民生用ドローンが落下した事件¹¹⁰を機に、同年12月より飛行禁止エリアや禁止事項、重量等に関する民生用ドローンを対象に独自の規制¹¹¹が進んだ。この事により民生用ドローンのホビー使用から、社会実装に向けた動向や新興技術としての発展が一気に下降傾向に転じたのは記憶に新しい。¹¹²また、この事件と規制に加えて、ホビー使用で頻発していた墜落事故の影響や他国の軍事使用の報道等で広く使用された「ドローン」という広義的な意味で多用された事により、ネガティブな印象が広まったと思われる。

一方で、規制含め事情の異なる海外では既存のメーカーに加えスタートアップ企業の乱立や異業種の参入等を繰り返しながらも着々と発展を続けた。

日本においてもドローンに関連する各種団体¹¹³の創設やドローンレース（図5-1）¹¹⁴等、新たな側面を加えて海外に追従する形で徐々に普及していった。特に近年は日本の規制対象から外れる200g以下の機体（図5-3）¹¹⁵の性能が著しく向上した事により、徐々に愛好者が増加傾向に転じていった。また、その技術の発展に伴い災害対応や農業、運搬といった商業利用（図5-2）での実用化に向けた動きも活発になってきている。



(図5-1) ¹¹⁶



(図5-2) ¹¹⁷



(図5-3)

しかし使用者が増える事で事故やトラブルが相次いだ事もあり、日本政府は2021年3月に空法等の一部を改正する法律案を閣議決定、いわゆるドローン規制¹¹⁸を厳格化した。この事により、2022年6月20日以降は従来200g以上としていたドローンの重量規制の対象が100g以上となり、重量が100g以上

¹⁰⁹ 本調査研究における民生用ドローンとは、ホビー用及び一部業務用を含む民生利用を目的として開発、販売され、航空法で無人航空機に定義される遠隔、自動操縦が可能な回転翼航空機、いわゆる小型マルチコプター（ドローン）を指す。

¹¹⁰ 【ドローン官邸に落下】出頭の40代男を逮捕 犯行の模様ブログに記録? 「官邸の警備も無能で悲しい」 | HuffPost News/BuzzFeed, Inc | https://www.huffingtonpost.jp/2015/04/24/drone-man-arrested_n_7140192.html

¹¹¹ 首相官邸落下事件から始まった日本のドローン法制と連続改正 | ドローン飛行許可専門サイト@行政書士 | <https://drone-nippon.jp/archives/1543>

¹¹² ドローンの名が広まった「首相官邸ドローン落下事件」を覚えていますか? | drone-school-navi | <https://drone-school-navi.com/column/n20171029/>

¹¹³ ドローン関連団体一覧 | (一社)日本ドローンビジネスサポート協会 | <https://www.drone-business.jp/dronelist>

¹¹⁴ 一般社団法人日本ドローンレース協会 | <https://www.jdra.or.jp/>

¹¹⁵ 【2022年版】200g以下で高画質 おすすめのトイドローン5選 | ドローンBLOG | <https://drone-info.net/200kgougasitu-toydrone>

¹¹⁶ 空から目線のドローンレース、世界王者は16歳の英少年 | (c)AFP/Ben STANSALL | <https://www.afpbb.com/articles/-/3116354>

¹¹⁷ TELEDYNE FLIR社 SkyRanger (スカイレンジャー) | 株式会社ネクシス光洋ドローン | <http://www.do-koyo.co.jp/uav/>

¹¹⁸ 無人航空機（ドローン・ラジコン機等）の飛行ルール | 国交省 | https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html

のドローンには国交省への機体登録とリモートIDの取り付けが義務付けられる。

(図5-4)¹¹⁹



(図5-4)

ここでは新たな規制も踏まえて、新たに規制対象外となる100g以下の民生用ドローン（民生用小型クワッドコプター※以降、ドローンもしくは民生用ドローン）と登録が必須条件である100g以上の民生用ドローンの中から特徴的な2機種を使用して技術的検証と実証実験を行った。

</実証実験 | ドローン (100g 以下、規制対象外) >

「ホームセンターで1万円で購入したトイドローンTello」編

1) 対象機体について

本実証実験で扱う機体は、2016年中国の深センを拠点とするスタートアップ企業Ryze Technology（ライズ・テクノロジー）が中国ドローン大手DJI（ディー・ジェイ・アイ）社とアメリカ半導体大手Intel（インテル）社の技術提供を受けて開発し、2018年3月に発売した「Tello（テロー）」という重量約80gの小型の機体である。12,900円（メーカー直販価格）という低価格でありながら、小型のHDカメラによるビジョンセンサーと赤外線による気圧センサーを組み合わせたポジショニングセンサーの援用により高度を一定に維持する等、初心者でも簡単に操縦出来る性能を備えている。また、Scratch（スクラッチ）やPython（パイソン）といったプログラミング言語に対応している事から、ホビー用途以外にも小中学校のプログラミング教育用教材として普及し始めており、文科省が例示したプログラミング教育教科利用例¹²⁰として紹介されている。

なお、前の項目「技術的検証 | サーマルカメラ」で触れたアメリカ政府による中国企業に対する規制が強化される以前に開発、発売された事により現在ではあり得ない米中企業によって共同開発された機体である。その事も関係して、発売から約4年経過した現在でも新たなモデルは発売されず、この発売当初のモデルが継続して販売されている。

¹¹⁹ 無人航空機登録ポータルサイト | 国交省

¹²⁰ ドローン自動運転で荷物を運ぼう | 文科省プログラミング教育教科利用例 | <https://mirapro.mext.go.jp/assets/Tello.pdf>

2) 実証実験

身近なドローン（以降、機体）という例えは決して大袈裟ではない。この機体の入手方法は、日用品の買い物に立ち寄った都内ホームセンターの小型家電（双眼鏡、アクションカメラ、髭剃り等）コーナーで売っているのを発見して、セール価格約10,000円で購入した。（図5-5、6）

箱を開けて中身を確認すると、三井住友海上火災保険株式会社による1年間無料の賠償責任保険（図5-7）の申込書が添付されていた。申し込みから1年間はこの機体を使用して発生した対人、対物事故に対して最大1000万円まで補償されるという内容である。



(図5-5)



(図5-6)



(図5-7)

機体は上部ボディカバーが外れる構造により、専用のシールや様々な取り換え用カバーがネットショップ等で売られており趣向性も高い。今回の実験用の機体には識別を目的としてアウトドア用のスプレーで塗装を施した。（図5-8）

飛行には、機体のコントロールと機体のカメラやセンサーから送られてくる情報の受信の為にスマートフォンもしくはタブレットが必要になる。今回は普段使用しているスマートフォンを使用した。（図5-9）



(図5-8)



(図5-9)

使用機器・スペック

機種名（メーカー） | TELLO (Ryze Technology)
 重量・サイズ | 約80 g | 98×92.5×41 mm
 機能 | 距離計、気圧計、LED、ビジョンシステム、802.11n Wi-Fi、
 カメラ | HD720p
 周波数帯 | 2.4 GHz
 最大飛行距離 | 100 m
 最大速度 | 約28km/h
 最大飛行時間 | 13分
 最大飛行高度 | 30 m
 生産国 | 中国
 価格 | 12,980円（メーカー直販価格）※実験使用機体はセール価格で購入
 オプション | GameSir T1d Controller（コントローラー）※実売価格：約4,000円

手順として、スマートフォンに専用のアプリ（図5-10）をインストールして機体の電源を入れてスマートフォンとWiFiで接続してリンクさせる。接続が完了するとスマホの画面に機体側のカメラ映像と機体の操縦の為のコントロールパッドが表示される（図5-9）。浮上ボタンをタップする事で機体が浮かび上がり、コントロールパッドの動きに沿って動く等、安定した飛行（図5-11）が可能であった。しかしスマートフォンのタッチ反応において、例えばボタンを押したまま維持するといった動作がやりにくい為、オプションとしてゲームコントローラメーカーが出している本機専用の物理コントローラ（図）を別途購入して使用する事にした。このコントローラについては、ゲーム用と同じ形状の物を改良して販売している事もあり約4,000円と安価であった。コントローラはBluetooth（ブルートゥース）を使用してスマホと接続して使用する。このコントローラによって操作性が特段に向上した。



(図5-10)

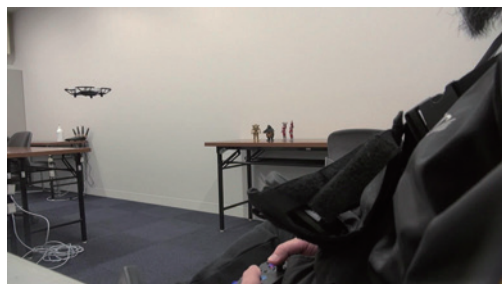


(図5-11)

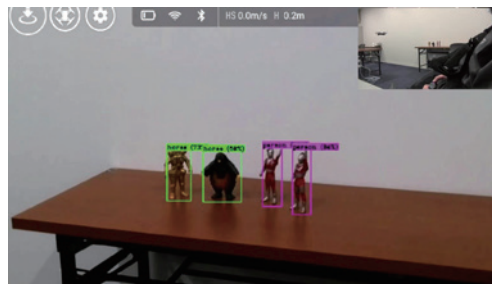
※実証実験動画QRコード¹²¹

次に、この機体を軍民両用技術の観点から検証する為、軍用偵察ドローンや攻撃用の機体に搭載、もしくは外部機器との連携で実用化されているAI物体検出を組み合わせる実証実験を行った。※実験動画は上記のQRコード及びURLから参照可能

スマートフォンと機体はリンクした状態のまま、外部ラップトップ型PCにスマートフォンの画面共有機能を利用して機体側のカメラ映像を投影する。投影された機体カメラの映像に対して汎用的なオープンソースAI物体検出モデルYOLO¹²²（ヨロ）を利用してリアルタイム物体検出を行った。（動画1）検出対象としてウルトラマンと怪獣のソフトビニール製の人形を置いた。



(図5-12)



(図5-13)

スマートフォン側ではドローンとのリンク、PCへの画面共有にWiFi 2.4GHz帯の電波を使用する影響でランダムに遅延が生じるが、概ねリアルタイムの処理とモニタリングが可能である。（図5-12）また特に意図していなかったが、汎用的な

¹²¹ 実証実験 | ドローン（100g以下、規制対象外） | 明治大学POLARIS | <https://www.polaris-meiji.org/proj-2021-dut-drone-u100g>

¹²² オープンソースリアルタイムオブジェクト検出アルゴリズム「You Only Look Once」
<https://pjreddie.com/darknet/yolo/>

物体検出モデルでも、ウルトラマンを「person」怪獣を「horse」と一識別していた。(図5-13)

さらに屋外でも同様の実験を行った。(動画2)屋外の場合には、電波の距離を伸ばすWiFiエクステンダー¹²³(中継器)をスマートフォンと機体との間に挟み、経由させる要領でリンクして行った。(図5-14)この事により、操縦者と機体との距離を伸ばす事が可能である。また、この実験ではドローンとAIを使用して大手民間企業や災害関連企業が実証実験を行い実用化を目指している「ドローン遠隔地監視サービス」を模擬する要領で、PCに送られた映像をさらに別のスマートフォンに送信するという内容で行った。¹²⁴(図5-15、16、17)



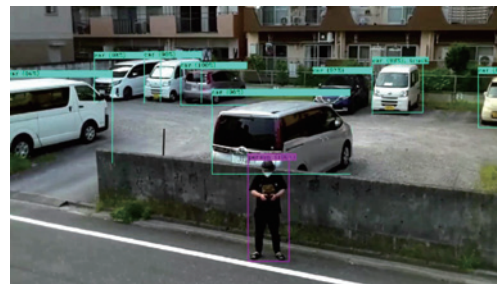
(図5-14) ¹²⁵



(図5-15)



(図5-16) ¹²⁶



(図5-17) ¹²⁷

屋外での飛行は多少の風でも影響を受ける為、コントローラーによる軌道修正は必須である。この事から、強風が吹く環境下での飛行は困難であると思われる。しかし映像送信においてはWiFiエクステンダーが効果を発揮し乱れる事は無かった。

この実験からは、各種センサーの援用により操縦も容易である事に加え、操縦にスマートフォンを介す事でPCや他の端末へほぼリアルタイムで映像を共有出来る等、安価で小型なドローンであっても他の機器との連携によって拡張性や有効性が向上する、特に屋内に限っては実用度が高いという結果が得られた。

この結果を軍民両用技術の視点から検証すると、至近距離や狭い空間での情報収集に使用出来る可能性は高い。また、低コストという事もあり使い捨て感覚での運用であれば実用度はさらに高まる。一方で、ホームセンター等で気軽に入手可能な機体であり、機体登録等の規制対象外でもある為、潜在的に悪用されるリスクも少なからず含んでいる点には注意が必要である。

¹²³ 対象のWiFi信号の強度を高め、増幅された信号を空气中で送信する機器

¹²⁴ 5G/ドローン/エッジ処理で要救助者を迅速に検知-NECとNTTドコモが災害救助支援の実証実験 | IT Leaders | <https://it.impress.co.jp/articles/-/23416>

¹²⁵ 左から：コントローラー、スマートフォン、ドローン(Tello)、WiFiエクステンダー、モバイルバッテリー

¹²⁶ ドローンからスマートフォンを経由してPCに共有された映像にリアルタイムAI物体検出をしているPCの画面

¹²⁷ 目視で操縦をしながらスマートフォンを通して離れたPCに映像を送信している

</実証実験 | ドローン (100g 以上、規制対象) >

「AIドローンSkydio 2 (US仕様)」編

1) 対象機体について

この実験で使用するSkydio 2 (スカイディオ2) は、2016年にスタートアップ企業として設立されたSkydio (スカイディオ) 社が開発、販売を行っている障害物自動回避や自動追尾といったAI技術の援用による自律飛行が可能なAIドローンである。このメーカー及び機体は、発表当初こそ自律飛行機能を活用した空中動画撮影に特化した性能を売りにしていたが、警察¹²⁸ (図5-18) や消防で活用される中で安全性と信頼性が実証された事で、米国国防総省によって政府によるドローンの調達可能先として認定¹²⁹された事に続き、2022年2月にはアメリカ陸軍の短距離偵察用に正式採用されるという他の民生用ドローンとは異なる経緯を辿って現在に至っている。すなわち民生利用における利便性を追求して開発した結果、事故や災害対応で有効性を示した事で国のお墨付きを得られた事になる。この経緯を開発者やメーカーが意図していたかどうかは不明だが、発売当初のプロモーションイメージ (図5-19)¹³⁰を見る限りにおいては、そのような意識が強かったとは感じられない。



(図5-18)



(図5-19)

なお、アメリカ陸軍で正式採用された機体は、今回使用する機体と機能や基本スペックは同一であるが、外観の防塵性、強靭性に加えてメインカメラをサーマルカメラ等で強化したSkydioX2D (図5-20) である。さらに、ロシアのウクライナ侵攻に際して同型の機体を提供する等、企業としてウクライナを支援している。



(図5-20)¹³¹



(図5-21)

¹²⁸ カリフォルニア州の警察がSkydioのドローンを使用して容疑者を逮捕 | DroneWik | (画像/Skydio)
<https://drone-wiki.net/media/news20210112/>

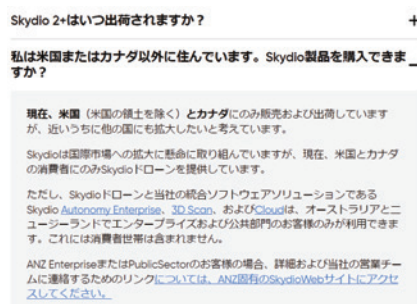
¹²⁹ 米国国防総省がドローンの調達可能先として米国メーカー5社を発表 | Drone and Law |
https://paripassunote.com/dod_200826/

¹³⁰ 発売日に完売！AIドローン「Skydio2」の進化とは!ドローントリビュート | (画像/Skydio)
<https://dronetribune.jp/articles/16392/>

¹³¹ Autonomous Drones for Defense | Skydio | <https://www.skydio.com/defense>

日本においては、本実験で使用したSkydio 2の日本仕様¹³²や災害、特殊環境用として同じく日本仕様のSkydioX2E¹³³（図5-2-1）¹³⁴を使い、危険が伴う箇所の点検等での実用化に向けた試験的な取り組みを国内取り扱い代理店の役割を担うNTT傘下のドコモ・スカイ及びドコモ・イードローン社により行われている。なお現時点では、日本国内の一般ユーザー向けの販売は行わない方針である事が表明されている。一方、アメリカでの購入はアメリカ、カナダ国内在住（領土を除き）のユーザーに限定して、メーカーサイトから直接販売のみで提供されている。（図5-2-2）さらに販売数も1機種につき1人（アカウント）原則1台に限定している点も特徴的である。したがって、主なユーザーは原則としてアメリカ国内に限られるという事になる。またメーカーサイトでは警察、消防、軍関係者向けの割引価格が設定されており、国の機関との強い関係性も垣間見える。いずれにしても、アメリカ、カナダ以外の地域では販売されておらず、日本においても法人、自治体向けの販売のみ（図5-2-4）に限られる為、一般的に入手自体も困難な機体である。

今回の実験に使用した機体は、アメリカ在住の知人がアメリカ国内で購入し、日本来日時に持ち帰った機体（図5-2-3）を個人的に譲り受けた物である。重量的には国交省への機体登録が必要になる。また、使用する電波が異なる米国規格（以降、US仕様）である事により、日本国内で屋外飛行する為には無線技士の免許も必要になる。このような事情から、本実証実験において屋内での自律飛行及び障害物自動回避の機能に対する検証（動画）と日本国内の屋外飛行の為に必要な手続き、資格取得を通じた（図5-2-5）体験、という2部構成で行った。

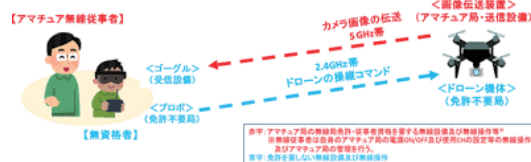


（図5-2-2）¹³⁵

（図5-2-3）¹³⁶



（図5-2-4）日本でのSkydio 2の販売価格、業務委託価格



（図5-2-5）総務省5GHzドローン

¹³² 日本の電波法に合わせて電波の送受信機能を日本仕様に変更した事により最大飛行距離（推奨）が300mに低下

¹³³ 日本の電波法への適合以外に機体末尾にE、Dといった民生、軍の種別が付く

¹³⁴ SkydioX2E実物 | デモ体験会にて撮影（2021年10月）

¹³⁵ Skydio 2/2+ Frequently Asked Questions | Skydio | ブラウザ翻訳機能で日本語表示させた画面

¹³⁶ 実験使用機体

2) 実証実験 | 機体性能編

使用機器・スペック

機種名(メーカー) | Skydio2 (Skydio)

重量・サイズ | 約775 g | 223 x 273 x 74 mm

機能 | NVIDIA Tegra X2、自律飛行、障害物自動回避、自動追尾、Wi-Fi、GPS、3DSCAN等

カメラ | メイン: 4K 4056 x 3040 自動障害物回避、空間把握用: 4K 200度広角×6基

周波数帯 | 2.4 GHz-5.8GHz

最大飛行距離 | 約3.5km

最大速度 | 約58km/h

最大飛行時間 | 23分

最大飛行高度 | 4572m

生産国 | アメリカ

価格 | 約1,500ドル (メーカー直販、コントローラー2種、バッテリーセット価格)

※日本では周波数帯の異なる機種Skydio2-Jの型番となり、対象は法人のみ、レンタルもしくは購入可能、保険、サポート込みの場合はレンタル月30万円、購入価格約140万円¹³⁷と高額である。(図5-24)

AIドローンSkydio 2の特性であるAI技術の援用による、自律飛行及び障害物自動回避機能を対象に実証実験を行った。また、この実証実験については内容や飛行許可等の国内の規制対応を考慮して大学内の部屋を借りて行った。

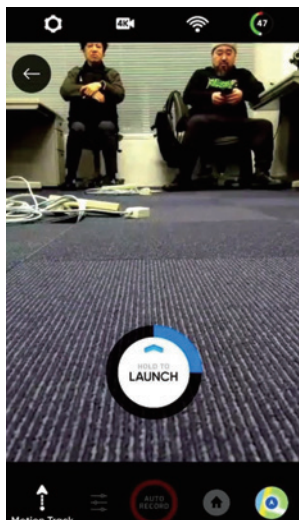
スマートフォンに専用のアプリをインストールして機体とWiFiで接続する。次にスマートフォンのGPSをオンにして、アプリの画面で機体の固定IDとパスワードを入力する事で機体と操縦者のスマートフォンとの位置を双方向で把握してリンクされる。その後、カメラの画質等の設定を完了すれば飛行可能である。また、本実証実験では行っていないが、アプリで設定可能な他の機能として経路飛行や電波が途絶えた場合の待機ポイントの設定が可能である。



(図5-26)



(図5-27)



(図5-28)



※実証実験動画QRコード¹³⁸

一通り基本設定を終え、飛行を開始する。(図5-26) 上記でも触れた通り周囲の環境を認識する為、機体の周囲30cm以内に人あるいは障害物を感知すると離陸のボタンを押しても離陸は出来ない、というよりもAIによる判断という点を考慮して「しない」という方が正確なのかも知れない。(図5-27) AIドローンSkydio

¹³⁷ 障害物を回避するドローンSkydio | NTT-Drone Technology | <https://www.nttedt.co.jp/skydio>

¹³⁸ 実証実験 | ドローン (100 g 以上、規制対象) 「AIドローンSkydio 2 (US仕様)」 | 明治大学POLARIS | <https://www.polaris-meiji.org/proj-2021-dut-ai-drone>

2の大きな特徴でもあるといえる。以上の点を踏まえ、機体の周囲の障害物を確認して離陸ボタンを押した。(図5-28)すると、ゆっくり垂直に浮かび上がった。前の実証実験の100g以下の機体に比べてサイズも重量もあり、さらに屋内という事もあり、プロペラの回転で発生する風と音は想定よりも大きい印象を受けた。しかし、操縦者は操作をしなくても床と天井の高さを認識して適度な位置でホバリング(浮遊)している。(図5-29、30)



(図5-29)



(図5-30)¹³⁹

次に、障害物自動回避機能を検証するためホバリングしている機体に近づいてみた。徐々に近づくと合わせるように徐々に距離を取る。(図5-31)素早く手を近づけてみると素早く回避する。(図5-32)さらに機体の横方向に障害物がある場合には、上昇しながら回避する等、(図5-33)想像以上の性能を示した。そして驚くべきは、この一連の実証実験の間、操縦者による操作は離陸ボタンを押すのみであった点である。この安定した自律飛行によって操縦者はカメラの操作に専念したり、自動追尾させる事により自転車の操縦等、他の事をしながらの飛行が可能であると考えられる。この自律飛行を自動車に例えると、実用化されていない高度な自動運転を連想させるような印象を受けた。



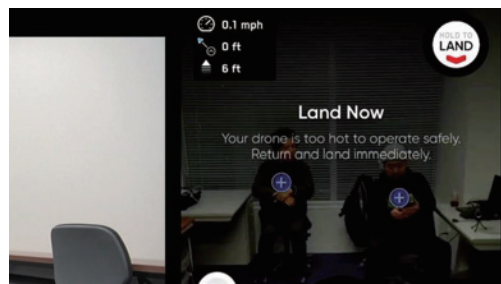
(図5-31)



(図5-32)



(図5-33)



(図5-34)

¹³⁹ 外部カメラ(左)、スマートフォンアプリ操作画面、青い円はドローンが人を認識しているマーク

また、記録を付けながら実験を行っていた事もあり、離陸スタンバイ状態でしばらく放置した後に再び飛行させると機体の温度が上昇した事を画面に表示して、直ちに着陸させるよう指示を出してきたのである。(図5-34)この点も、機体の制御から管理まで自律性能が関与するという、AIドローンの特性を表しているといえる。

本実証実験から、機体にAIを実装する事による直接的な援用は、ドローンの運用に重要な安全性だけではなく、容易な操作性や機体の管理においても大きな効果を得られる事が明らかになった。

軍民両用の観点から見ると、このSkydio 2は先にも触れたように外観に変更を加えつつも、基本性能を維持したままアメリカ陸軍に正式採用されている事から、軍事利用においても有効であるのは既に明確である。また、その目的もAI技術の援用による自律飛行、障害物自動回避、自動追尾、容易な操作性といった安全性や操縦者の負担軽減に直結する点においては、民生利用で求められる有用性との間に相違は見当たらない。この有用性は、操縦方法習得の訓練、練習時間の短縮や運用時の人員削減等いわゆる省人化・省力化にも効果があるといえる。

この実証実験で得られた結果から、AIドローンSkydio 2の機体性能がもたらす有用性は軍民において相違はなく、軍民双方の課題でもある省人化・省力化への効果も期待出来る事から、実用性と有用性を兼ね備えた軍民両用技術である。

3) 実証実験 | 規制、資格編

本実験で使用したSkydio 2含め、海外から輸入もしくは持ち帰った機体を日本で飛ばす場合、国交省の規制に加えて飛行時に使用する電波利用について、総務省が管轄する電波法への対応が必須条件となる。

その二つの規制に対する対応や実際の体験を実証実験として行った。

国交省が管轄する規制は、2022年6月20日以降、機体重量が100g以上のドローン及びラジコン等の無人航空機を対象に、機体登録と機体番号の取得、機体への表記、飛行位置確認用のリモートID¹⁴⁰の搭載、手数料の支払い、3年毎の更新が義務化される。¹⁴¹

まずは、国交省の機体登録サイトで登録を行った。手続きは基本的にオンライン対応が可能とされており、特設サイトでアカウントを作成、機体情報等の必要事項を記入した。本人確認はマイナンバーカードでの認証で完結すると告知していたが、認証に必要なマイナアプリ¹⁴²がスマートフォンのOSではなく機種に依存しており、自身の所持する機種が軒並み非対応であった為、住民票を郵送する事になった。この点については設立当初から続くデジタル庁らしい顛末であり、特に驚く事でもない。また、この件について機体登録ヘルプデスクに電話で問い合わせを試みたが、常に「お掛け直してください」という音声案内のみで一度も繋がらなかった。

¹⁴⁰ドローンの位置情報を発信する装置である、メーカーによってはアップデートにより機体の機能で補えるが、それ以外の場合には別途取り付けが必要になる

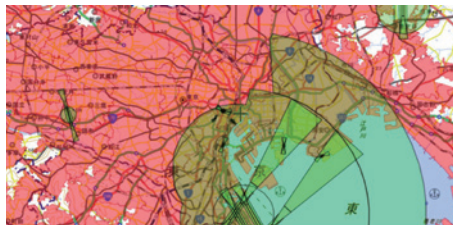
¹⁴¹無人航空機の登録制度 | 国交省 | https://www.mlit.go.jp/koku/koku_ua_registration.html

¹⁴²本来アプリケーションと依存関係があるのはOSのバージョンである

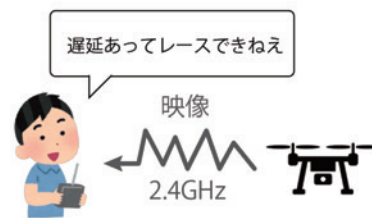
なお、この機体登録について国交省が行った当初の説明では即日から2週間で登録が完了する、としていたが本人確認が完了してから審査に約1ヶ月半を要した。しかし審査と言っても登録申請時には機体の型番と製造番号のみ記入し、使用年数や写真、保険加入の有無といった内容は求められておらず、何を審査しているのかは不明である。その後、郵送で手数料1,450円の支払い用ペイジーコードが記載された用紙が届き、支払いを行った3日後に特設サイトにて機体番号が発行されている事が確認できた。この機体番号はドローン本体の任意の箇所に直接記入もしくはシールで貼付する、との事で字体や書き方に細かい指定は無かった。

また実際の飛行には機体登録の他に、飛行に許可が求められる場所での飛行申請や飛行禁止エリア内での飛行には別途許可申請が必要になる。しかし現状として、都内はほぼ全域が人口密集地と区分されており基本的に飛行禁止区域であり、いずれにしても許可申請が必要になる。(図5-35)

次に総務省が管轄する電波法への対応である。基本的に日本国内で購入可能なドローンは全て飛行時に使用する電波の周波数帯が2.4GHzに統一されており、基本的に今回のような電波法への対応は必要ない。しかし電波事情が異なる海外(一部の国を除き)では、スマートフォンや家電との干渉が少なく映像送信の遅延が少ない5GHz帯¹⁴³が主に使用されている。また近年、日本国内でも盛り上がりを見せているドローンレースでは、ドローンのカメラから操縦者が着けるFPVゴーグルに映し出される映像の送信に5GHzが使われている。この事により遅延の無い映像を見ながらの操縦が可能である。(図5-36)



(図5-35) 飛行禁止マップ



(図5-36)¹⁴⁴

この5GHz帯の周波数帯を使用するドローンの飛行には、アマチュア無線技士4級以上の免許、いわゆる無線技士免許の取得が必須条件となる。さらに、海外製品の一部やレース用含め自作ドローンについては総務省の技適¹⁴⁵制度に適合する必要がある。設計図等を添えて申請、審査、適合という道りを通る必要がある。また、この一連の手続き代行を専門に行う行政書士事務所も一定数存在する。

そこで本実証実験の一環として、ドローンの操縦で5GHz帯を使用する為に必要なアマチュア無線技士4級の取得を目指した。取得方法は国家資格試験の受験以外に、講習会への参加と終了試験、もしくはeラーニング講習受講¹⁴⁶と終了試験のいずれかに合格する事によって免許取得となる。本実証実験では、新型コロナウイルス対

¹⁴³ 日本では5.7GHzが商用、5.8GHzがレースその他と分類され資格も異なるが、これらを総じて5GHz帯と呼ぶ。

¹⁴⁴ なぜ高い周波数の5.8GHzをFPVドローンで使うのか?? | スタドロン | <https://stdrone.jp/mateur-radio-fpv-drone/>

¹⁴⁵ 総務省が定める電波を利用する機器に対する認証精度

¹⁴⁶ はじめようアマチュア無線eラーニング講座 | QCQ planning | https://www.qcq.co.jp/ykk/34ama/34ama_top.html

策も兼ねてeラーニング講習を受講する事にした。事前に問い合わせをして本調査研究の趣旨を説明させていただいた上で、株式会社キューシーキュー企画のeラーニング講座に申し込んだ。費用は講習、終了試験、免許取得手続き費用込みで約20,000円であった。本来は趣味や研究目的の無線局の開設、無線機を使用する為の資格試験という事もあり、合格した場合の無線機使用と無線局開局に必要な身分証明書と免許証用の顔写真を添えて郵送にて申し込みを行った。なお、無線技士免許は日本国籍を有する者に限られる為、外国人の受講や受験は実質不可能である。¹⁴⁷

申し込みから5日後に講座で使用するテキストやログインID、終了テスト受験方法が書かれた書類が郵送で届いた。(図5-37) 講座の内容は電波法に関連する「法規」と無線機や電波の技術的な知識を取得する「無線工学」の2科目である。(図5-38、39、40)¹⁴⁸

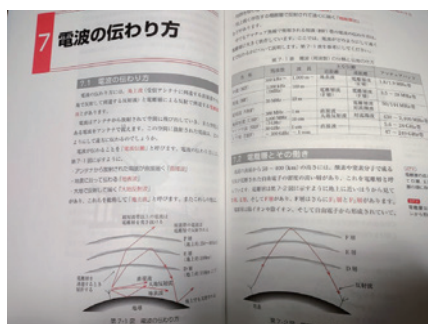


(図5-37)

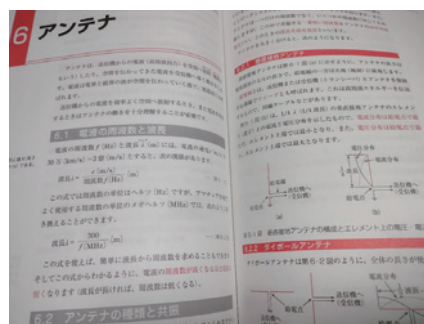


(図5-38)

受講方法は、講座サイトにパソコン及びスマートフォンでアクセスして講義動画を順序に従って任意の時間に視聴する形で進められる。講義動画を途中で早送りをした場合には「受講済み」とはならず、次の講義動画に進む事が出来ない。例えば講師がホワイトボードに図を書き終えるまでの間であっても、一切の早送りは厳禁である。



(図5-39)



(図5-40)

¹⁴⁷ 免許が与えられない場合1.外国性の排除 | 総務省電波利用 | https://www.tele.soumu.go.jp/ja_m/p_oc/lose/

¹⁴⁸ 講座テキスト | 発行元QCQ planningより承諾を得て掲載

受講については、スマートフォンにも対応していたことで場所も時間も限定されずに空いた時間を利用して約14日で講習の受講が終了した。講習自体はオンラインだが、終了試験のみ試験会場にて受験する必要がある。また、通常の試験とは異なり全国にある提携する英会話教室やパソコンスクールの中から任意で場所と日時を選択、予約するシステムになっている。今回は外出のついでにアクセスしやすいパソコンスクールを選択した。試験はパソコンスクールに設置されたパソコンからテストページにログインすることで開始され、回答は全てパソコンの画面でのみ行う。試験時間は60分で出題は10問、合格ラインは7問以上の正解である。試験を終え、翌日にはテスト予約ページにて合否が発表される。結果は合否のみで点数は通知されない。

試験の結果は合格。(図5-41)しかし、この講座や試験内容においてドローンを扱う事との関連性で言えば電波法や電波障害くらいなもので、テキストや講習、テストに至るまで「ドローン」という単語は皆無であった。なお、本実証実験の準備期間にeラーニング講座の事務局に問い合わせをしたが、近年は受講者の半数以上がドローン目的との事であった。

試験合格から免許の交付までは約1ヶ月半ほどの期間を要する為、本調査期間中の屋外飛行は日数的に困難であった。この資格は今後の活動の中で活かしていく予定である。

一方でSkydio 2の技適申請では、本体の裏に技適マークを確認したものの、念のため総務省の担当部署に問い合わせをした。詳しい経緯はわからないとした上で番号を照合していただき、ドローン本体とコントローラーの組み合わせで技適の申請が通っている(図5-42)という事が確認された。この事により技適の申請は不要であった。



(図5-41)



(図5-42)

これらの点を踏まえると、日本国内でドローンレースや海外で開発及び販売されているドローンを飛ばす為には、国交省への機体登録、飛行申請に加えて、総務省の電波法が定める電波利用を目的とした無線技士資格の取得、技適マーク取得が必須条件になる。

実際の体験を通して、ドローンの普及や発展に不可欠な技術の民主化には総務省の規定する電波法が障壁となっている現状も確認できた。また、外観は同じ機体であっても日本仕様の機体は日本の電波法に適合させる事で無線技士免許が不要であるが、元々は海外で開発されテストを経て販売された機体であり、特に電波に関わ

る仕様が異なる点においてはUS仕様に比べて最大飛行距離が極端に短くなっている点が性能に影響を与えているのは明らかである。さらに、US仕様の機体に技適マークが記載されているにも関わらず、無条件で使用出来ない大きな理由がこの電波法である。なお、本技術的検証や実証実験の対象ではない事から詳しくは触れないが、この日本仕様のSkydio2(J)を体験会で操縦した個人的な感想として、映像やコントローラーの反応、着陸時の動作において多少の違いを感じたのは確かである。

このようにドローンの飛行や操縦にも影響を与える、電波利用の現状や制度について総務省へ改めて問い合わせをした。すると、現行の電波法がドローン、スマートフォン、モバイルWiFiといった屋外で電波を利用する機器の普及を想定出来ていなかった、という見解を得た。また、そのような状態であるが故に特例扱いで認めた事例もある。例えば、モバイルWiFi等で使用する5GHzの帯空中使用は電波法で禁止されているが、飛行機の中を屋内と解釈することで認めたという事であった。さらに、総務省では個々の電波利用が電波法において違法か合法かの判断は出来るが、捜査及び摘発等の権限を持たない事から国民の電波利用について、違法性が疑われるケースに直面した場合においても基本的にはお願いベース、いわゆる「違法になる恐れがあります。ご協力下さい。」となる、という見解も得る事が出来た。

上記でも触れたが、本調査中にドローンにスマートフォンで使用している通信用SIMカードを取り付け、LTE 4G通信の電波を利用した遠隔操作等を可能にする新サービスをNTTやKDDIといった大手キャリアが打ち出した。しかしスマートフォンで使用する電波の周波数帯は2.1GHzであり、日本の電波法に適合した一般的な民生用ドローンが使用する2.4GHz帯に干渉する可能性が大きい点に加え、月々約50,000円という高価格である事から、電波利用における抜本的な解決策とはならない可能性に加え、そもそもの方向性や効果が異なると考えられる。

本実証実験の規制、資格編からは、海外メーカーの輸入ドローンや自作ドローンを使用する為には国交省の機体登録、各種手続きの他に、総務省の電波法によって無線技士免許取得が必須条件になる一方で、その電波法自体がそもそもドローン等の屋外で電波を使用する技術の普及を想定出来ておらず、輸入機体を日本仕様にする事で性能を劣化させる一因にもなる等、今後の技術の発展においては不条理かつ不明瞭な現状が明らかになった。

<得られた結果 | 考察>

<実証実験 | ドローン (100g 以下、規制対象外) >

ホームセンターで購入した小型ドローンTelloを対象に、ホビーからプログラミング教育で使用されている現状や、企業が実用化を目指して進めているドローンとAIを使用した取り組みの事例を踏まえて実証実験を行った。スマートフォンが支点となって他の機器との連携で得られる拡張性によって狭い範囲における実用度を高める、ということから軍民両用技術の側面と潜在的に悪用されるリスクを示した。

<実証実験 | ドローン (100g 以上、規制対象) >

AIドローンSkydio 2を対象に、AI技術の援用による自律飛行や障害物自動回避機能についての実証実験を行い、安全性や容易な操作性において効果が得られる事を明らかにした。そのAIドローンの機体性能がもたらす有用性や期待出来る効果について軍民の相違がない事を示し、実用性と有用性を兼ね備えた軍民両用技術であると結論付けた。

実証実験 | 規制、資格編では、国交省の新たなドローン規制における機体登録やドローンの電波利用に必要な無線技士資格の取得を実際の体験を通して実証実験として行った。ドローンに関連する規制の矛盾や課題を身を持って経験した結果として、特に総務省が管轄する電波法においてドローンを始めとする屋外で電波を使用する技術の普及を想定出来ていない等、ドローンの発展に影響を及ぼしかねない不明瞭な現状を明らかにした。

<得られた課題>

ドローンについての技術的検証を通して日本のドローン事情、規制に関連する課題が明らかになった。

1点目に、先に触れた首相官邸墜落事件の発生によって単に規制が制定されただけではなく、ドローンというキーワードが広く社会的にネガティブな印象をもたらし、その影響は現在も少なからず残っている。その原因の一つとして、軍事利用における攻撃用から民生利用におけるホビー、商業利用、災害利用等、これら全てを「ドローン」という総称で一括にして報道され、常用されている事にあると考えられる。この事は本技術的検証の名称においても同様で、本来であれば「小型クワッドコプター」もしくは「民生用小型回転翼無人航空機」とすべきところを「民生用ドローン」と表記している点にも少なからず影響している。本技術的検証と実証実験における2機種を比較しただけでも規制の有無、性能や得られる効果についての差は明らかであり、共有認識という観点においては不正確である。この事から、例えば「軍事用攻撃ドローン」「民生用小型AIドローン」といった、補足する意味の単語を組み合わせた表現や表記をする事が望ましいと思われる。特にドローン及び技術を言葉のみで使用する方々にとっては、伝える上での正確性と経験不足を補う観点からも重要であるといえる。

2点目に、規制について。ドローンに関する国交省が定める新たな規制における規制対象の重量の定義である。従来は200g以上としていた規制対象を100g以上に変更したことの根拠について国交省に質問したが、明確な回答は得られなかった。また、機体登録の際に支払う登録料の用途についても質問したが、こちらについても明確な回答を得られなかった。この規制については、試行錯誤の状態である事を考慮しても理解しがたい部分が多々あり、一般ユーザーと事業者を分ける等それぞれにとって使い勝手の良い制度に改めていかない限り、ドローンの振興や発展をさらに阻害しかねない。これは新たな規制への対応として申請等の一連の経験を通して強く感じた次第である。

一方で海外から持ち帰った、もしくは購入したドローンやレース用ドローンにおける電波利用に関しては、無線技士免許の取得というドローンそのものとは直接的に関係のない、本来は無線機の使用及び無線局設置に必要とされる資格を場当たり的に代用しているような印象を受けた。この点は電波法の現状も同様であり、ドローンやスマートフォン、モバイルWiFi等が普及する現状を想定出来ていなかった、という総務省の職員の見解から明らかである。このような現状は新たな技術、特に海外で開発、製造された技術や機器の使用を制限される事に直結している。このような現状は、ドローンに限らず電波利用を有する技術の発展や普及に密接に関係する事でもあり、法改正や規制緩和について早急に取り組むべき喫緊の課題である事は明らかである。また、現状を受け入れている企業にも厳しい目を向ける必要がある。少なくとも日本国内においては、軍民両用技術という基準以前に海外における民生利用のレベルに適合する為の法整備や環境整備を急ぐべきである。

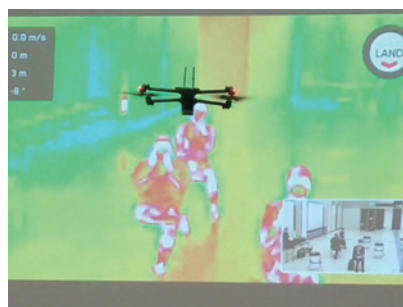
補足 | ウクライナ危機に見る民生用ドローンの活用

このドローンの話題では、ロシアのウクライナ侵攻に触れざるを得ない。侵攻当初からウクライナ軍及び国民有志の徹底抗戦において、民生用ドローンを偵察や索敵、記録、改造を施しての小規模な攻撃等に活用していた事は記憶に新しい。このことによって、民生用ドローンは戦時下においても実用性の高い軍民両用技術である事を証明した事になる。

また、本技術的検証の実証実験で使ったアメリカのドローンメーカーSkydio社を始めとするドローンメーカー数社がウクライナ政府へ機体や技術を提供¹⁴⁹するなど、侵攻の危機にあるウクライナにおける民生用ドローンの活用は益々広がりを見せている。



(図5-43) ¹⁵⁰



(図5-44) ¹⁵¹

日本政府もウクライナへの支援として、自衛隊が備蓄するヘルメットや防弾ベスト等と一緒に民生用ドローンを送る事を決定した。この支援については防衛装備品の輸出ルールを定めた「防衛装備移転三原則」の運用指針を改定した事への賛否もあったが、報道各社が重点的に報じたのが「民生用ドローン」についてである。しかし、内容的には軍事利用への懸念や殺傷能力の有無といった技術的な視点に欠け

¹⁴⁹ Ukraine Sounds Alarm on Chinese Drones, Opening Skies to U.S. Startups | The Wall Street Journal | <https://www.wsj.com/articles/ukraine-sounds-alarm-on-chinese-drones-opening-skies-to-u-s-startups-11650619800>

¹⁵⁰ ウクライナに捜索用として提供されたBRINC Drones | <https://brincdrones.com/>

¹⁵¹ ウクライナに提供された米軍採用と同型 SkydioX2 | 体験会でのサーマルカメラ飛行

た抽象的な記事ばかりであった。そこで本技術的検証と実証実験の結果と技術的な観点から、この問題について言及する。一部報道¹⁵²によると自衛隊がウクライナへ送るとしているドローンは、価格にして約10～20万円程度の民生用ドローン Parrot社（フランス）Anafi（アナフィ）及びAnafi Thermal（アナフィ・サーマル）と報じられている。（図5-45）（図5-46）¹⁵³



※スマートフォンは別売です

（図5-45）



（図5-46）

この機体はホビー用として家電量販店やアマゾン、楽天といったショッピングサイト等で入手可能な機体であり、日本の規制や電波法に適合している事で飛行に至っては無線技士の免許は不要である。実は、この点こそが自衛隊の民生用ドローンをウクライナに提供する事に対して、技術的に検証すべき要点である。本技術的検証や実証実験が示す通り、日本の電波法に適合したドローン（以降、日本仕様）では2.4GHz帯の電波の利用に限定しているがウクライナ含め大半の諸外国（一部を除き）では5GHz帯の電波を利用する機体が基本である。この点から、日本仕様の民生用ドローンを送って役に立つのか？運用出来るのか？という疑問が浮上する。



（図5-47）¹⁵⁴



（図5-48）

これまでのウクライナにおける民生用ドローンの活用方法を見る限り、ドローンの操縦は主に目視での操作ではなく身を隠した状態でドローンのカメラからスマートフォンに送信された映像を見ながら行っている様子（図5-47）が見受けられる。この点から、映像の遅延やスマートフォンの電波から干渉が生じる可能性の高

¹⁵² ウクライナにドローン提供「防衛装備品ではない」 日本が追加支援 | 朝日新聞 | <https://www.asahi.com/articles/ASQ4M64FKQ4MUTFK00V.html>

¹⁵³ Parrot ANAFI THERMAL | ビックカメラ.com | https://www.biccamera.com/bc/i/topics/parrot/anafi_thermal/index.jsp

¹⁵⁴ 無人機による対ロシアの優位性を失うウクライナ軍 | AP Photo/Oleksandr Ratushniak

い2.4GHz帯の電波を利用する日本仕様のドローンでは操作に支障が出る可能性が極めて高いと思われる。一方で日本のような規制が無い事により、ウクライナではドローンに対する親和性も技術力も高く、ドローンの改造や修理、自作等を行う市民有志の団体もウクライナ軍を支援している。(図5-48)¹⁵⁵この事から、日本から送られた日本仕様のドローンについては、改造が施されるか故障時や自作用のパーツとして扱われると想定するのが現実的である。少なくとも仮に上記のように活用されていたとしても、日本の報道で論点としている殺傷能力云々といった懸念が的外れである事は、この技術的検証の結果からも明らかである。

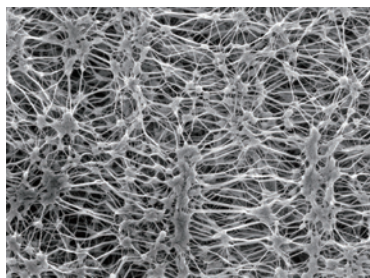
さて、逆に日本が災害含め有事に見舞われた場合を想定して、例えば海外からドローンの提供を受けた時の対応や活用方法、規制や電波法の運用に関する議論、論考は全く聞こえて来ない現状には注意が必要である。

ロシアのウクライナ侵攻における民生用ドローンの活用方法と、日本の支援で送られるドローンに関する諸問題について技術的な視点から検証した結果、日本のドローン事情と電波利用に関する課題を改めて突きつけられる事になった。

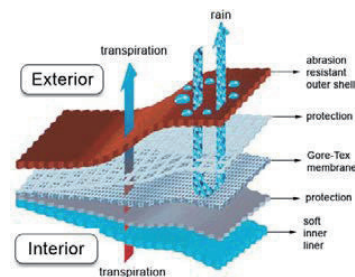
6. <技術的検証 | ゴアテックス>

一般的にアウトドアウェアを中心に広く認知されている防水透湿性素材Gore-Tex (以降、ゴアテックス)¹⁵⁶は古くから同一の名称で軍事利用されている事から軍民両用技術の観点から技術的検証と実証実験を行った。

ゴアテックスは、元デュポン社の研究者ビル・ゴア氏がフッ素素材樹脂化合物のポリテトラフルオロエチレン (以降、PTFE)¹⁵⁷の研究を経て、妻のヴィーヴ・ゴア氏と1958年にゴア社 現: W. L. GORE & ASSOCIATES)¹⁵⁸ (以降、ゴア社) を創設し、1969年には、ゴア夫妻の息子であるビル・ゴア氏がPTFEを急速に延伸させた事をきっかけに、延伸多孔質ポリテトラフルオロエチレン ePTFE)¹⁵⁹が発明された。そのePTFEをフィルム状にしてポリウレタンポリマー¹⁶⁰を複合化した薄い膜状



(図6-1)



(図6-2)

¹⁵⁵ 軍事用の特注ドローン製作する愛好家たち ウクライナ | Aleksey Filippov / AFP

¹⁵⁶ アメリカのWLゴア&アソシエイツ社が製造販売する防水透湿性素材の商標名。

¹⁵⁷ フッ素樹脂 (フッ化炭素樹脂) の一種。商品名はフライパンの加工で有名なテフロン (Teflon) である。

¹⁵⁸ アメリカ合衆国に本社を持ち、PTFEの延伸加工技術に強みを持つゴアテックス 素材で知られる多国籍企業。

¹⁵⁹ PTFEに熱を加えて延伸加工した素材 | 日本ゴア合同会社HP「ゴア、ePTFE発明50周年」より引用
<https://www.gore.co.jp/news-events/press-release/gore-celebrates-epfe-50-anniversary>

¹⁶⁰ 高分子化されたポリウレタン

のフィルムがゴアテックスメンブレン（図6-1）¹⁶¹である。このゴアテックスメンブレンとナイロン等の生地を結合した防水透湿性素材がゴアテックスとなる。その特性は、防水性と透湿性を両立させる事で水蒸気は通すが雨は通さないという点である。（図6-2）¹⁶²また、一般的に認知されているゴアテックス製品とは、ゴア社から供給を受けたゴアテックスメンブレンを用いて各メーカーが製造した商品である。

民生品においては、1977年にアメリカのアウトドアメーカーによって商品化されて以降、様々な進化を遂げながら普及し現在ではアウトドア用品を中心に多くの製品において採用されている。日本においては近年のアウトドアブームによりさらにシェアを伸ばし、身近なアイテムとして広く浸透している。また、民生用においては様々な用途に合わせて特性を持たせた数種類のゴアテックスが存在する。

（例：GORE-TEX®Active、GORE-TEX®Pro等）



（図6-3）¹⁶³



（図6-4）¹⁶⁴

軍用においては、1980年代後半にアメリカ陸軍ネイティック研究・開発・技術・センター(CCDC)¹⁶⁵によって開発された極寒冷地から活動地域の気候に合わせてインナーからアウターまでを組み替えるレイヤリングシステムECWCS¹⁶⁶の中で防水透湿性ハードシェルとして採用される。（図6-6）

現在は第3世代（図6-7）となり、インナーのLEVEL 1から7の極寒冷地用アウターまでのレイヤリングの中でLEVEL 6の防水透湿素材のジャケットとパンツにゴアテックスが採用されている。

日本では自衛隊、消防、海上保安庁等においてゴアテックスのジャケット、パンツ、雨具等が採用されている。

また、アメリカ軍では予算等の都合で一定の階級以下の隊員、人員には支給されないケースや支給された分で不足した場合を想定して、基地内の売店（Post

¹⁶¹ 電子顕微鏡で観察したゴアテックス製メンブレン|日本ゴア

¹⁶² 防水透湿性のメカニズム /W. L. Gore & Associates Inc.

¹⁶³ 【スノーボード】洗練された最高品質のウェア。GORE-TEXを代表する高耐水・高透湿でストレスフリーなウェアがあります。BURTON、AK、THE NORTH FACE、241、VOLCOM、QUICKSILVER、DC etc | ムラサキスポーツ

¹⁶⁴ スキーウェアのゴアテックス素材が優秀！機能やお手入れ（洗濯）方法、おすすめ商品をご紹介します。
| TANABE SPORTS | https://www.tanabesports.com/article/detail/wear_goretex/

¹⁶⁵ the U.S. Army Natick Research Development and Engineering Centerの略称

¹⁶⁶ EXTENDED COLD WEATHER CLOTHING SYSTEMの略称

Exchange、以降、略称：PX)で支給品と同スペックで製造された装備品(通称：PX品)を自費での購入が可能で、ゴアテックス製品も同様である。この事から支給品の数を超える量が生産、流通し実際の任務に使用されている事になる。

また、このPX品は自費購入である事から私物扱いとなり、退職時に返却の義務は無い。その為、ミリタリーショップやネットオークションで流通している中古、未使用品の「実物」「実物同等品」「軍納入品」と表示されている製品の殆どがこのPX品であると思われる。さらに稀な例として、アメリカ軍では特定の作戦に就く部隊が作戦の内容や用途に合わせて特定のメーカーに特別注文する事が慣例化しており、この特別注文で製造された製品が後に何らかの理由によって、中古や未使用のままオークション等に流通するケースが見受けられる。一方で、この特別注文を受けたメーカーが民生用に改良を加えて商品化する事例もある。



(図6-5)¹⁶⁷



(図6-7)



(図6-8)

軍事用のゴアテックス製品は民生品と異なり、全ての製品において名称やロゴに至るまでGORE-TEX®(ゴアテックス)で統一され、ロゴは内側のサイズや品質表示等と同様の箇所に織りネームで縫いこまれている。(図6-8)

軍事用と民生用におけるゴアテックス製品の相違点としては、耐久年数とも言われるが、実は製造工程と原材料が異なる点にある。

ゴアテックス製造工程に限らず様々な製品の製造に用いられる有機フッ素化合物が環境への影響や発がん性が指摘された事による国際的な規制化¹⁶⁸の流れや、20

¹⁶⁷ ECWCS | LEVEL 1 → 7 | ADS,inc

¹⁶⁸ 主にPFOS(ペルフルオロオクタンスルホン酸)、PFOA(ペルフルオロオクタン酸)を対象とした規制。

19年ストックホルム条約¹⁶⁹で廃絶物質に指定された事により、防水透湿素材加工時の有機フッ素化合物の使用を様々な企業が自主的に控える動きが始まった。

「フッ素化合物=悪」といった誤った認識もあったことから、ゴアテックスの供給元のゴア社は環境団体グリーンピース（図6-9）¹⁷⁰と協議を重ね、フッ素化合物の中から害を及ぼす種類を検証して特定した。その結果を踏まえ、2017年に製造工程に出る低分子量フッ素化合物（PFCEC）¹⁷¹を2023年末までに段階的な廃絶を行う事を発表した。さらに翌年の2018年にはこのフッ素化合物を使用しないゴアテックス素材を新たに開発し、現在までに一般向けのアウトドアやスキー等のレジャー向け製品の約半数で採用されたとしている。¹⁷²



(図6-9) ¹⁷³



(図6-10) ¹⁷⁴

また現段階では、ゴアテックスの供給を受ける各製造メーカーの自主判断ではあるものの、一般消費者から耐久性や防水性といった機能面において賛否が分かっている現状も商品レビュー等から確認出来る。（図6-10）

一方で、軍事用（消防や救助等の特殊用途も含め）においては、民生用製品のような規制や環境への配慮等の対象から除外されているだけでなく、想定している耐久年数が民生用に比べて長く、製造工程が明確に異なる事が昨年10月に開催されたテロ対策特殊装備展（SEECAT）¹⁷⁵の日本ゴア合同会社の展示ブースで、軍事用含め特殊環境用ゴアテックスの商品説明を受けて明らかになった。

このような事から、想定する耐久年数、製造工程の違いにより軍事用の性能や耐久性は民生用を上回るという事を示している。

一方で、製造工程の違いによる機能面への影響はどの程度あるのか、どのような使用においてどの程度影響するのかという点をより明確にする為、軍事用と民生用の同等クラスのゴアテックスジャケットを例に以下の要領で実証実験を行った。

¹⁶⁹ 早急な対応が必要と思われる残留性有機汚染物質(POPs)の減少を目的として、それらの指定物質の製造・使用・輸出入の禁止または制限をする条約 | 環境省HP「ストックホルム条約」 | <https://www.env.go.jp/chemi/pops/treaty.html>

¹⁷⁰ アウトドア市場で「デトックス革命」が始まります。 | 国際環境NGOグリーンピース・ジャパン | <https://www.greenpeace.org/japan/sustainable/story/2017/02/06/3075/>

¹⁷¹ W. L. GORE & ASSOCIATES社の調査によって判明した環境への影響に懸念のあるフッ素化合物の一つ

¹⁷² 「ゴアテックス」のサステナ担当に聞く 毒性フッ素化合物の廃絶 | WWDJAPAN | <https://www.wwdjapan.com/articles/893322>

¹⁷³ ノースフェイスに有害化学物質の使用をやめるよう求める人々。 | 国際環境NGOグリーンピース

¹⁷⁴ VOLCOM sustainability | Volcom, Inc.

¹⁷⁵ テロ対策特殊装備展 (SEECAT) | <https://www.seecat.biz/>

</実証実験 | ゴアテックス/ジャケット>

下記の軍事用と民生用を対象にゴアテックスの特性でもある撥水性、防水性と防風性、保温性について異なる環境において計2回の実証実験を行った。

(図6-11)



(図6-11)

</実験用ゴアテックスジャケット/スペック>

軍事用：米陸軍Gen3（第3世代）ECWCS LEVEL 6 ゴアテックスジャケット
（2014年製造、ゴアテックス3層）

民生用：The North Face Winter Dance Jacket（ゴアテックス・プロシェル）
（2016年発売、ゴアテックス3層）

〔備考〕軍事用は、在日米軍基地に配属されていた知人から譲り受けた着用年数2年程度のPX品である。また、同等品の中古オークション相場は約2～5万円である（2022年5月現在）。民生用は、個人で購入し登山等に十数回程度着用、メーカーが推奨する保存方法で管理していた私物である。購入当時のメーカーのラインナップ内ではハイスペックに分類され、購入価格も約6万円であった。このようにスペック、価格において同等品と判断して実験対象とした。

(図6-12)¹⁷⁶



(図6-12)

¹⁷⁶ 実証実験に使用したゴアテックスジャケット

1) 撥水性、防水性 | 編

[実験環境]

放水用シャワーで水を10分間吹きかける

[比較結果]

軍用○ 民生用×

[実験結果]

軍用は、終始吹きかけた水をポロポロと弾き続けた。結果として撥水性、防水性においては大差をつけて軍用が勝った。(図6-13) (図6-15)

民生用は、5分程度は水を弾いていたが時間が経つにつれて表面の生地に水が染み渡ったように質感が変化した。(図6-14) 最終的に内部に水が染み込む事は無かったが、(図6-16) 表面が濡れて重量が増した事により、軽量というゴアテックスの特性の1つは失われたといえる。



(図6-13)



(図6-14)



(図6-15)



(図6-16)

2) 防風性、保温性 | 編※動画記録

[実験環境]

標高約1800m付近、スキー場に隣接する雪山登山道

(新潟県と群馬県の県境山岳地帯) ※2022年3月下旬

天候：晴のちくもり 気温：-7℃~-13℃(標高約400~1800m付近)

[比較結果]

軍用：△ 民生用：○

[実験結果]

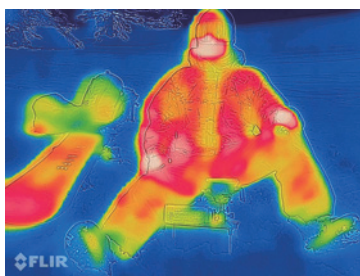
いずれのジャケットも寒冷地に対応している点に着目して、低気温と照射冷却の発生を想定して新潟県と群馬県の県境にある山岳地帯の標高約1800mのスキー場に隣接する雪山登山道にて実証実験を行った。往路は隣接するスキー場の Gondola と

リフトを乗り継ぎ、そこから徒歩で実験を行った登山道まで移動した。復路は徒歩でスキー場管理区域まで戻りスノーボードで滑り降りて下山した。いずれのコースも経験者に雪崩が発生しやすい箇所についてアドバイスを受け、安全に配慮して行った。(図6-23)(図6-24)

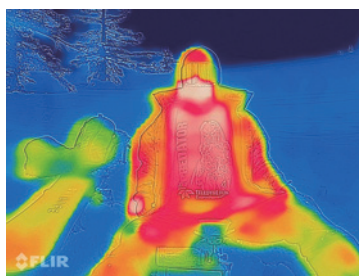
実験方法は、それぞれのジャケットを着用してシングルバーナーで温めたコーヒー120ccを飲み終わってから20分静止、その様子をサーマルカメラで撮影して体温の変化を可視化する事で防風性と保温性についての比較を行った。



(図6-17)



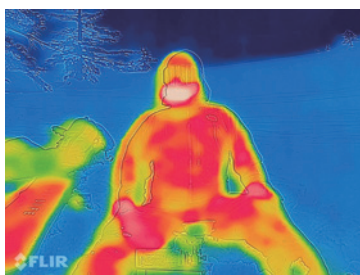
(図6-18)



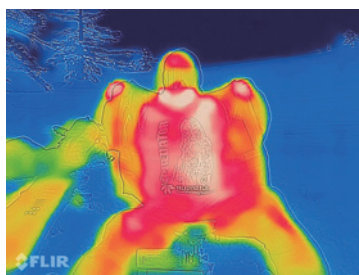
(図6-19)



(図6-20)

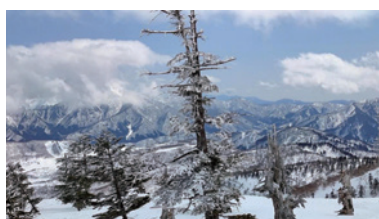


(図6-21)



(図6-22)

防風性は僅かに軍用用が勝ったが、(図6-18)(図6-21)保温性に関しては軍用用ポケットが無く、民生用には胴と胸にポケットが配置されており、ポケット箇所の生地が二重になっている事により僅かではあるが民生用が勝った。その僅かな差については、それぞれ計測時間終了時にジャケットのフロントジップを明けた時の上半身のサーマルカメラ画像の色の違い(図6-19)(図6-22)で表れている。また、通常より動きにくい雪上においては生地の柔軟性で民生用の方が体感として優れている印象であった。この点を加味して民生用が勝った。しかしながらその差は僅かであった。



(図6-23)



(図6-24)

¹⁷⁷※実証実験動画QRコード

※この実証実験における雪山登山及びスキー場管理区域外での活動については経験者のアドバイスを受け安全に配慮して十分な装備を携行して行いました。

¹⁷⁷ 実証実験 | ゴアテックス/ジャケット (防風性、保温性) | 明治大学POLARIS | <https://www.polaris-meiji.org/proj-2021-dut-goretex>

<得られた結果 | 考察>

ゴアテックスは当初民生用として開発され商品化されたが、後に軍事用に採用された軍民両用技術である。

民生用ゴアテックスは、普及が進んで多くの人にとって身近になった近年においては、環境への影響が指摘される有機フッ素化合物に対する規制の影響もあり、従来の製造工程や原材料を環境に配慮する形で変更した商品を段階的に増やした。その結果、一般ユーザーの間で機能性についての評価が分かれるという現状も垣間見える。軍事用ゴアテックスは、想定している耐久年数の違いから製造工程や加工において民生用と異なる点や、有機フッ素化合物に関する規制の対象から除外されている事が調査の結果明らかになった。

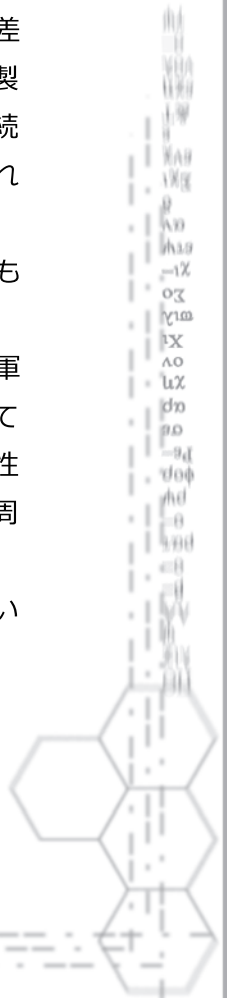
この軍事用と民生用の異なる点をさらに明らかにする為、軍事用、民生用それぞれ同等クラスのゴアテックスジャケットを対象に実証実験を行った。

その結果、実証実験「1）撥水性、防水性 | 編」では、市民生活に身近な降雨時の撥水性、防水性は軍事用が圧倒的に勝った。「2）防風性、保温性 | 編」では、標高の高い雪山での保温性において、ポケットの有無や生地柔軟性という僅かの差で民生用が勝った。実証実験の結果として、社会生活において身近な降雨時を想定した場合には撥水性、防水性が高い軍事用が最適で、標高の高い雪山ではポケットの有無と生地の柔軟性において民生用がやや最適であると言える。もちろん用途に合わせて使い分ける事が望ましいが、コストや日常生活においての使い勝手等を踏まえて評価した場合、本実証実験の結果からは軍事用の方が最適であるといえる。

以上から、軍事用と民生用で想定されている耐久年数や製造工程の違いによる差は実証実験の結果においても明確に表れた。さらに、民生用ゴアテックス製品の製造工程や原材料を環境問題や関連する規制に沿って変更した近年の取り組みが継続される点を加味すると、現状において一般ユーザーは本来ゴアテックスから得られるべき効果を十分に受けていない可能性が高いと思われる。

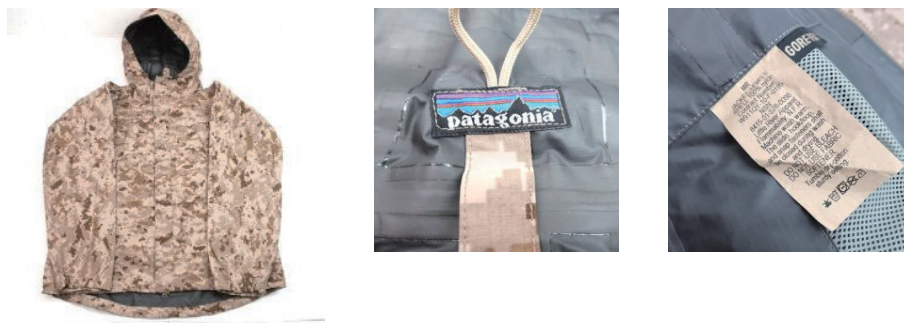
一方で軍事用に至っては、環境への配慮や規制の対象から除外された事で現在もゴアテックス本来の機能が保たれている。

本技術的検証の結果として、同様の名称（商標）でも製造工程が異なる以上は軍用と民生用の差は明確である。したがって、この機能の差を混同して総称においてゴアテックス=軍民両用技術とする分類や認識は機能性という点においても正確性に欠けており、「軍事用ゴアテックス」「民生用ゴアテックス」と明確に分けて周知、認知される事が望ましい。そして、軍事用、民生用の違いについて一般ユーザーに向けて明確に示す事により、ゴアテックスに求める機能性と環境問題について各々が自覚して考え、行動するきっかけになると考えられる。



<得られた課題>

ゴアテックスの軍民の性能の差に大きく関係しているのは、従来の耐久年数や製造工程の違いに加えて、民生用ゴアテックスのみを対象とした環境への配慮と規制に関連した製造工程と原材料の変更である。この点は今後も継続される大きな課題であると言える。例えば、環境に配慮した事により耐久性が低下し、買い替えのサイクルを早めている可能性と全ての製品を軍用と同様の製造工程、原材料に統一する事で耐久性が向上して買い換えサイクルが伸びる可能性について、比較や検証は行われているのだろうか？この点は環境問題を考える際には大事な要素である筈である。さらに環境問題の観点から調査すると矛盾した事実が見えてくる。この有機フッ素化合物への対応¹⁷⁸や環境問題への取り組みを通じて環境団体と関係の深いアウトドアブランドPatagonia（パタゴニア）社、実は長年アメリカ軍の軍用ゴアテックスを含む軍用衣類を開発、製造する事で利益を得ている企業¹⁷⁹でもある。日本市場においても環境に配慮するブランドイメージが一般的には認知されているが、一部マニアの間では上記の軍用衣類製造についてもある程度は知られている。この点については、ネットオークションや古着店で同社の品質表示タグが着いたアメリカ軍向け軍用ゴアテックス製品（図6-25）¹⁸⁰の未使用品、中古品が一定数流通している事からも確認出来る。¹⁸¹しかしこの軍用衣類製造についてカタログやウェブサイトには一切記載されていない点には注意が必要である。



（図6-25）

ゴアテックスに対する軍民両用技術の観点から技術的検証を行い得た課題は、ゴアテックスの性能に関わる製造工程や原材料に影響を与える環境問題、その環境問題に取り組むイメージの強い企業は、環境に配慮する規制の対象外となる軍用ゴアテックスの製造で利益を得ている、という矛盾である。

ゴアテックスにおける軍民の差に関連する環境問題と矛盾含みのサイクルについて、特に一般ユーザーは厳しい目で見ていく必要があるといえる。

¹⁷⁸ 「アウトドア衣類」に有害化学物質、グリーンピースが警告 | AFPBB News | <https://www.afpbb.com/articles/-/2910665>

¹⁷⁹ That Big Military Contractor . . . Patagonia? | National Review | <https://www.nationalreview.com/corner/that-big-military-contractor-patagonia/>

¹⁸⁰ PATAGONIA MARS LEVEL6 GORE-TEX JACKET MED NOS | FORMOST | [https://foremost.jp/items/163916.html#lightbox\[photo\]/2/](https://foremost.jp/items/163916.html#lightbox[photo]/2/)

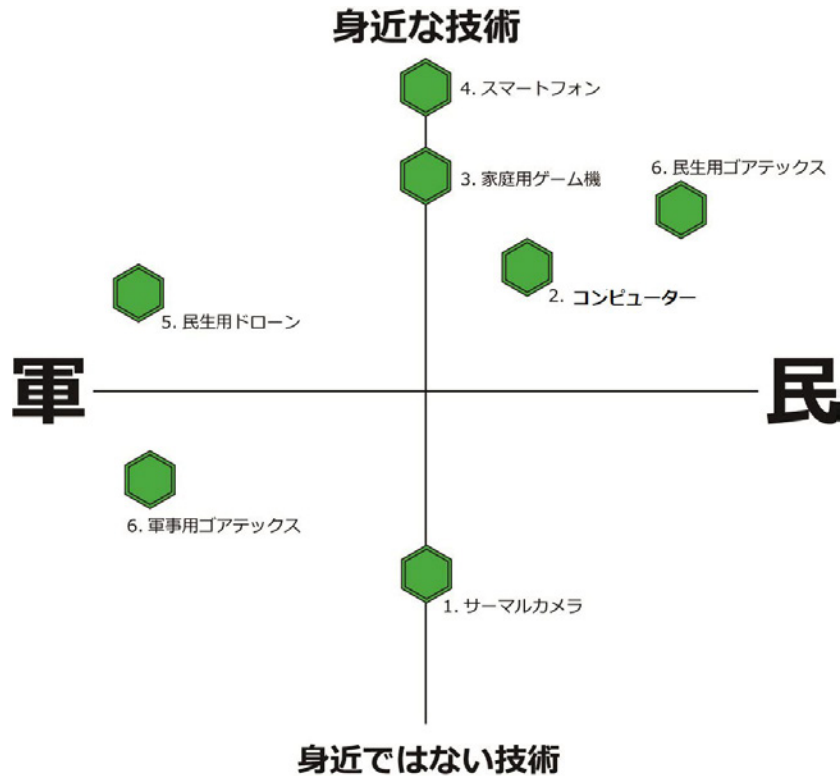
¹⁸¹ 【patagonia mars / パタゴニア マーズ】 希少なミリタリーライン “gen 3 level 4 wind shirts “ | Encinitas | <https://encinitas.co.jp/blog/staffblog/patagonia-mars-gen3-level-4-wind-shirts/>

</技術的検証 | 結果の比較>

1 から 6 の技術的検証及び実証実験の結果を下記のグラフに示す。横軸は「軍」「民」、縦軸は「身近な技術」「身近ではない技術」となる。

横軸の中央に位置する技術が軍民双方で実用性と有効性が高い「軍民両用技術」ということになる。逆に「軍」「民」いずれかに寄っている技術は、その寄っている方向に実用性と有効性が高いことになる。また、6 のゴアテックスについては軍民で異なる点が明確に示された結果に沿って分離して配置した。

このグラフが表すのは技術的検証で得られた結果に基づいた「民生技術に潜む軍民両用技術」が置かれる位置と軍民における実用性と有効性の度合いである。



<付録 | 中間発表 | デュアルユース・ナラティブ | DUT-NT>



本調査研究課題の中間発表会を兼ねた明治大学POLARIS主催 | POLARIS-DUT研究会「デュアルユース・ナラティブ | DUT-NT」と題して、2021年12月に非公開、招待制でオンライン形式で開催した。この会には意識調査でご協力いただいた佐藤丙午氏、木村和尊氏、XXXXXXXXXX勝田忠広氏に加えて、日立製作所でロボット開発¹⁸²やAI研究を行っている浅野優氏¹⁸³をコメンテーターとして招き、本調査研究の中間報告を基にそれぞれの立場から自由な意見を交わした。

さらにディスカッションでは、本調査研究の調査対象になっている技術についてオウム真理教による一連のテロ事件¹⁸⁴を例に、技術が悪用される可能性やそれらに伴う規制について議論した。このオンライン研究会では本調査研究の結論に繋がる重要な見解や課題を得る事が出来た。



¹⁸² 人間と共に生きるロボットをめざして—EMIEW3の開発 | <https://www.hitachi.co.jp/rd/sc/story/emiew3/index.html>

¹⁸³ 明治大学POLARISPOLARIS 2018年度公開連続講座第1回「ロボットは市民社会を変えるのか？」講演者プロフィール | <https://www.polaris-meiji.org/polaris2018-vol1-05-25>

¹⁸⁴ オウム真理教 | 公安調査庁 | <https://www.moj.go.jp/psia/20140331.aum.top.html>

</結論>

本研究では、専門家だけではなく利用者である市民も含めた一人一人にその自覚と責任を促し、軍民両用技術に対する理解と共生の仕方を提示するため、市民生活に浸透している民生技術の中にある軍民両用技術の利用に関する現状調査を行った結果、以下が明らかになった。

- 意識調査：軍民両用技術への理解や意識について、各分野の専門家、実務家を対象に聞き取り調査を行った。その結果をテキストマイニングで分類し、ワードクラウドで可視化し軍民の割合の強さや身近さをグラフで表した結果、各々立場によって「軍民両用技術」に対する認識が視点、方向性、具体性といった広範囲に渡って異なる事が明確になった。つまり軍民両用技術について議論や論考をする場合、対象となる技術の名称と説明を添える事が望ましく、受け手との共通認識を形成する「サイエンスコミュニケーション」のような手法が望ましいといえる。

さらに「軍民両用技術」に対する認識の個人差と曖昧さを補完するため、軍民双方で使用される身近な技術を対象に「技術的検証」と「実証実験」を行い、各技術における個別の課題を明らかにした。

- サーマルカメラ：軍民双方において要求される強度や品質は異なるが、物体が発する遠赤外線（温度）の強弱を可視化するサーマルカメラから得られる効果に相違は無く、軍民双方で実用性の高い「軍民両用技術」であるという結果を得た。さらに、サーマルカメラを取り巻く国際的な規制や国内の問題に関する課題に対し、技術への理解と軍民両用技術の認識を改め、技術を巡る諸問題に対し、サーマルカメラのように可視化して考察する事の重要性を示した。
- コンピューター：現行の軍事用コンピューターと民生用コンピューターの比較を通して、主要部品の新旧という違いを明らかにし「開発（軍）→転用（民）→発展（民）→転用（軍）」という軍民におけるコンピューターのサイクルを示した。その結果から、民生利用においてコンピューターを生活必需品として使う事は軍への出荷に向けて準備する事であり、使用者も一定の責任を自覚する事が技術の発展に伴い求められる倫理の視点においても重要であることが明らかになった。
- 家庭用ゲーム機：PS3の軍事転用を例に、現行のPS5、Xbox-Xとのスペックについて比較した結果、現行のゲーム機には大規模な軍事転用の可能性は極めて低いという事実を明らかにした。さらに、異なる軍事転用の例としてゲームをプレイするプレイヤーのデータがイスラエルの次期戦闘車両の自律操縦に使用するAIの学習データとして取得、利用されている例を課題として挙げ、ゲームをプレイする全ての人間のスキル（技術）が軍民両用技術である、という見解を示した。

- スマートフォン：通信機器以外の機能とその拡張性について軍民双方の事例を基に検証を行った。その結果、社会生活において最も身近なスマートフォンは、民生利用と軍事利用の間に技術的な境界線が存在しないボーダレスな軍民両用技術であることが明らかになった。これは、その身近さから「ポケットの中のデュアルユース（軍民両用技術）」であるといえる。また課題として、ロシアのウクライナ侵攻におけるスマートフォンを用いた抵抗、そして攻撃目標となるリスクも含め、スマートフォンを使用する多くの人々が軍民両用技術という自覚を持つ事の重要性を示した。
- 民生用ドローン：日本の規制に従い、100g以下の機体と100g以上の機体を対象に、軍民両用技術の観点から実用度、性能、さらに規制に対する実際の体験を通じた実証実験を行った。その結果、日本の規制やドローンに関する現状そして電波利用に関する課題が明らかになった。また、このドローンにおいてもロシアのウクライナ侵攻から、ウクライナでのドローンの活用方法と日本の自衛隊がウクライナに提供したドローンについて技術的に検証した結果、改めて日本のドローンに関する現状や規制についての課題が明確になった。
- ゴアテックス：軍民のゴアテックスの違いについて、製造工程や環境問題を背景とする原材料の違いを軍事用と民間用の定義として示した。さらに実際の環境における違いを明らかにする為の実証実験を行い、軍事用と民生用の違いを用途別に示し、「軍事用ゴアテックス」「民生用ゴアテックス」という認識や表示が望ましいという結論を得た。またこの軍事用と民生用の製造工程と原材料の違いの背景にある環境問題に取り組みつつも軍事用も製造するメーカーの矛盾を明らかにして、不都合な事実と消費者による注視の必要性について課題を示した。

以上のように、民生技術に潜む軍民両用技術という視点を常に持ち、身近な技術に対して多角的に見つめ直す事により、現状で広く用いられている曖昧な軍民両用技術の概念に流される事なく、安全保障や経済安全保障への理解、そして技術の適切な扱い方、その技術がもたらすリスクとベネフィットについて各々が自身の基準を設ける事が可能だと思われる。

技術は、軍民間問わず利便性を求めるために人間が製造し人間が利用するものであるため、使用者の理解と目的を明確にする事が第一に必要な。もしそれを十分に行うことができれば、必要以上の基準や規制は必要ないとも言える。技術を自由に扱い理解した結果、軍民両用技術の基準を各自で設けることも可能となる。そして技術起因の事件や事故、さらに有事の際にも適切に対処する事も可能となる。

またロシアのウクライナ侵攻でウクライナの人々が世界に示したのは、スマートフォンや民生用ドローンなど本来は軍事利用を目的としない民生技術を駆使した徹底抗戦だった。この事実は本調査研究の正当性や先見性を示すものであったといえる。本調査研究で得た課題、特に技術に対する理解や規制を基にこのウクライナ問題を見ると、日本の技術に関する規制の再考や軍民両用技術に対する意識を改める事は急務であるといえる。日本が目指すべき方向は、技術に対して明確な基準や規制を求め、強いる事よりも、むしろ技術への理解と距離を縮める事によって、技術がもたらすリスクとベネフィットをしっかりと受け止める事が出来るような社会環境の構築にあるといえる。

本調査研究により、「民生技術に潜む軍民両用技術」とは、平時は使い手の好奇心と社会生活における利便性を満たし、有事には差し迫る脅威に対する抵抗手段になりうる全ての技術である、と結論づけることができる。



POLARIS

POLARIS

調査期間：2021年4月1日～2022年5月31日

明治大学 POLARIS | 市民社会と科学技術政策研究所
POLARIS-DUT | 軍民両用・融合技術研究ユニット



HP
Dell
Lenovo
ASUS
Acer
Xiaomi
Samsung
Huawei
Motorola
Google
OnePlus
Nothing
Fairphone
Polaris



この調査研究報告書は、一般財団法人 新技術振興渡辺記念会 令和3年度(2021年度) 科学技術調査研究助成の成果物として発行した冊子版を再編集したウェブ公開版です。

内容の転載、引用、その他につきましては下記よりお問い合わせください。

明治大学 POLARIS お問い合わせフォーム：<https://www.polaris-meiji.org/contact>

明治大学 POLARIS (市民社会と科学技術政策研究所)

