

【特集：エア・パワーの新たな地平】

（研究ノート）

## ウクライナの戦争継続要因

—ドローンを中心とした航空阻止の実現と適応—

航空研究センター総合企画推進研究室  
3 等空佐 渡邊 旭

---

### はじめに

2022 年の大規模侵略開始時、ウクライナは主要兵器の量的・質的劣勢をはじめとした非対称性に直面した。欧米の支援により質的向上は図られているものの、量的格差を中心とした非対称な構造は現在まで概ね変化していない<sup>1</sup>。それにも関わらず、ウクライナは、大規模な国家間紛争を継続している。

ウクライナの戦争継続を可能にしている要因として、先行研究では、既存の有人航空機や MQ-9 リーパーに代表される大型無人機よりも、小型かつ安価なドローンの大規模な運用<sup>2</sup>と、作戦的課題への機敏な「適応<sup>3</sup>」が言及されている。しかし、既存の議論は、近距離の陸上戦闘における小型ドローンや長距離攻撃ドローンの有効性といった、個別の戦闘局面における分析に偏重している。しかしながら、ウクライナが戦争を継続できている要因とドローンとの関係を理解するためには、作戦全体への寄与とその時系列的变化を捉える必要がある。そこで、本稿では、「ウクライナは、どのようにドローンを用いて戦いを継続しているのか」という問いを設定する。

この問いに対し、本稿では「航空阻止<sup>4</sup>」に焦点を当てる。なぜなら、航空阻止は敵の戦争遂行能力に直接影響する重要な作戦であり、戦争の継続可否と強い関係を有するためである。分析に当たっては、戦争の経過とともに出現する新たな作戦的課題に対する航空阻止の実施要領とその時系列的な発展、即ち、ウクライナの適応プロセスを明らかにする。これにより、ウクライナが、粘り強く戦いを継続している要因を明らかにする。

以下、第 1 節では、本稿における分析の焦点であるドローン、航空阻止、そ

して適応について、先行研究の概要とウクライナにおける意義を説明する。第2節では、ウクライナの適応プロセスを理解するため、航空阻止の3要素である、ISR（Intelligence, Surveillance and Reconnaissance）、指揮統制、持続性について確認した後、発見・照準・交戦のプロセスであるキルチェーンを通じた運用状況を整理する。第3節では、大規模侵略開始から2024年までの、ウクライナによるドローンを用いた航空阻止の実施状況を概観し、適応状況の推移を分析する。そして、結論として、ウクライナによるドローンを用いた航空阻止が、高価な航空機を前提とした既存のエアパワー論に挑戦し得るものであることを示唆する。

## 1 分析の焦点に係る先行研究の概要とウクライナにおける意義

### （1）ドローン

ドローンは、その多くが商用技術で構成されるため、航続距離や搭載能力に制約がある一方、比較的小型で安価という技術的特質を持つ<sup>5</sup>。そのため、量の確保の容易性という観点で、既存兵器に対する優位性が述べられてきた<sup>6</sup>。ウクライナのドローン活用に関する先行研究は、このドローンの特質を基に、主に3つに大別される。

一点目は、陸上作戦におけるドローンの有用性に焦点を当てた研究である。これらの研究は、ウクライナが戦車や戦闘機といった既存兵器の量的劣勢をドローンで補完している点、ISRの提供で火砲等の既存兵器の迅速な運用に貢献している点を強調している<sup>7</sup>。二点目は、ドローンの効果を消耗戦略の観点から捉えた研究である。これらは、主に長距離攻撃ドローンを焦点に、防御側に迎撃ミサイル等の高価な手段による対応を強いるコスト賦課の可能性を論じている<sup>8</sup>。三点目は、「空の沿岸域（Air Littoral）」概念を基礎に、既存の高高度を主体とした航空領域への影響を述べる研究である。これらは、航空作戦の中心であった航空優勢の獲得が、ドローンによって困難となる点を指摘し、将来的な航空作戦実施や組織の変化の必要性を主張している<sup>9</sup>。

これらの研究は、ドローンの特質を基礎に、ウクライナにおけるドローンの重要性を示している。しかし、その内容は、近距離での陸上作戦支援、長距離攻撃ドローンの有用性、航空優勢獲得といった分野に限定されており、紛争期間における時系列的な発展と適応の経緯という視点が欠落している。

### （2）航空阻止

航空阻止とは「敵部隊が友軍に効果を発揮する以前に、目標変更、妨害、遅

滞、破壊を行う<sup>10</sup>」活動と定義される。この活動は、敵の戦争遂行能力に直接的な影響を与える軍事作戦として、多くの研究者や実務者からその有効性が論じられてきた。戦争の早期終結等への寄与に関して、市民を標的とした戦略爆撃等の攻撃と比較し、相手への部隊や継戦能力を標的とした航空阻止による攻撃の有効性を述べたロバート・ペイプ (Robert A. Pape)<sup>11</sup>、ペイプの議論を精緻化し前線の敵への航空攻撃である近接航空支援と比較し、航空阻止の有効性を主張した元米空軍 A-10 攻撃機パイロットのフィル・ハウン (Phil Haun)<sup>12</sup>は、その代表例である。

ウクライナにとって、航空阻止は、作戦的課題を克服するための重要な方策と位置付けられる。大規模侵略以降、ウクライナは 1,000km 以上に及ぶ広大な戦線と、約 5 倍の戦力差を持つロシア地上部隊という二重の課題に直面した<sup>13</sup>。その一方、これまで航空阻止の中心的手段であった航空機に関しては、質的・量的劣勢により自身の航空活動が制約された上、欧米諸国からの F-16 戦闘機導入も政治的・技術的理由により期待通りに進まなかった<sup>14</sup>。そのため、代替手段としてのドローンを活用した航空阻止は、重要な意義を持つようになった<sup>15</sup>。

しかし、ウクライナによる航空阻止に関する少数の研究の焦点は、大規模侵略当初の実施手段の不足や結果の分析にとどまっている<sup>16</sup>。これらの研究は現状の一面のみを捉えたものであり、時系列的な発展と適応の経緯の確認は行われていない。

### （3）適応

現代の軍事イノベーション論をはじめとした軍事研究において、環境に対し自身を変化させる適応の重要性が注目されてきた。軍事分野における適応とは、「戦略、部隊創設、軍事計画、作戦実行への変化として定義され、作戦的課題や一連の作戦に対する圧力に応じて実施されるもの」とされる<sup>17</sup>。対象とする時期、変化の程度、メカニズム、といった捉え方について、研究者によって違いがみられる<sup>18</sup>。その一方、多くの研究で共通して主張されているのは、適応とは、漸進的なプロセスの組織的なメカニズムであり、特定の技術や兵器を取得するのみでは適応には不十分で、それを使いこなす組織の知的基盤が重要、という点である<sup>19</sup>。

ウクライナの事例研究においても、適応の重要性が主張されており、欧米諸国の支援獲得、民間企業の導入、市民の協力の獲得といった分野での適応が、戦争の継続を可能にしている要因と分析されている<sup>20</sup>。軍最高指揮官であったヴァレリー・ザルジニー (Valerii Zaluzhnyi) も、ドローン等の新興技術を念頭に、

劣勢な戦力で戦勝を獲得する手段として、適応能力のさらなる向上の必要性を明示している<sup>21</sup>。つまり、ドローンをはじめとした兵器の戦場での運用と適応のプロセスを明らかにすることは、劣勢であったウクライナが、戦争を継続できている要因を理解する上で、極めて重要である。

## 2 分析枠組み

### （1）航空阻止実行に必要とされる3要素

ウクライナの航空阻止と適応の推移を理解するため、本稿では特に、米空軍ドクトリン等で言及されている、実行の3要素の時系列的变化に焦点を当てる。第一の要素はISRである<sup>22</sup>。敵部隊の行動やそれを支える移動経路や補給といったシステムは複雑であるため、これを理解し標的を特定することが必要である。ISRで得られた正確な情報によって、適切な攻撃手段の選択と敵の標的への攻撃が可能となるが、本稿では特に、ISR手段の性能及びその数の変化について確認する。

第二の要素は指揮統制である<sup>23</sup>。航空阻止には、ISRや攻撃部隊、連携して作戦する地上部隊といった多様な部隊が関与するため、一貫した計画と実行が必要となる。つまり、指揮統制の適切性は航空阻止の実現の基盤といえる。本項では特に、情報共有システム及び指揮系統の変化を確認する。

第三の要素は持続性である<sup>24</sup>。相手の規模が大きいかほど、一度の攻撃では目標の達成が困難であるため、長期間にわたり圧力を賦課することが必要になる。持続的な活動を行うことによって、複雑なシステムを持つ相手であっても、その戦力発揮の阻止が可能となる。本稿では特に、作戦の持続性を表す指標として生産及び訓練を、効果の持続性を表す指標として火力という2つの面に焦点を当てる。

これら3つの要素の変化を通じ、ドローンを中心とした航空阻止の実施と発展という適応プロセスを分析する。

### （2）キルチェーンによる整理

上記、3要素に基づいた航空阻止の実施状況を把握するため、主な兵器の使用状況を、キルチェーンによって整理する。元来キルチェーンとは、目標の識別、攻撃及びその評価からなる、効果的な兵器の使用に係る一連の行動を意味する<sup>25</sup>。高度にネットワーク化された現代戦において、一連のプロセスは通常、複数の兵器で構築される。この状況を整理するため、本稿では、戦場でのドローンの発展を分析したステイシー・ペティージョン（Stacie Pettyjohn）らの研究を

参考に<sup>26</sup>、キルチェーンを、発見・照準・交戦という単純化した3段階のプロセスとする<sup>27</sup>。また、分析対象は、航空阻止の代表的な3つの標的、すなわち橋、兵站基地、移動部隊とする<sup>28</sup>。そして、各標的に対する一連のキルチェーンのプロセスで主に使用されている兵器を概観することにより、航空阻止の実施状況を整理する。

### 3 ウクライナにおける航空阻止の発展

#### (1) ISR

ISR について、戦いの推移とともに、ドローンの種類の増加や性能向上が認められるとともに、製造数や運用部隊数も増加した。

大規模侵略当初、近傍のロシアの移動部隊の発見及び照準には、主に DJI Mavic をはじめとする商用ドローンが使用された。また、標的が特に橋や補給基地の場合、欧米諸国が提供する衛星情報によるところが大きかったと推察されている<sup>29</sup>。

これらの手段が継続的に使用される一方、時間の経過とともに、特に固定翼偵察ドローンの活用が顕著に拡大していった。大規模侵略当初、ウクライナは、一部の部隊が Furia 等を使用していたが<sup>30</sup>その後、2022 年中に、米国からの Puma の供与をはじめ外国製ドローンの導入が進展した<sup>31</sup>。加えて、ウクライナ製ドローンの開発も進められ、例えば 2022 年後半には Shark<sup>32</sup>が運用され始めた。

戦争の経過とともに、これらのドローンは性能も向上させている。例えば 2023 年以降に供与された Puma は、航続距離を延伸した Puma LE となっている<sup>33</sup>。また、ウクライナ製のドローンについても、例えば Shark は、当初 60km であった航続距離を 2023 年には 80km に、2025 年には 180km まで延伸させている<sup>34</sup>。

これら固定翼偵察ドローンの製造数も増加している。例えば、2014 年から大規模侵略直前までの期間における Furia 等の製造機数は 100 機程度であった<sup>35</sup>。これに対し、大規模侵略以降この数は劇的に増加し、固定翼偵察ドローン全体の製造数は、2024 年の 1 年間で 5,000 機に拡大している<sup>36</sup>。

これら主な固定翼偵察ドローンの概要は表のとおりである。

表：主な固定翼 ISR ドローンの概要

| 種類    | Furia <sup>37</sup>   | Shark <sup>38</sup>   | RQ-20 Puma <sup>39</sup>  |
|-------|---|---|---|
|       |  |  |  |
| 全翼長   | 2m  | 3.4m  | 2m  |
| ペイロード | 5.5kg   | 12.5kg  | 2.5kg   |
| 活動範囲  | 50km  | 60km→180km  | 15km→60km   |

出典：上述及び脚注を基に著者作成

さらに、これらを運用する組織も増加しており、大規模侵略当初、キーウ防衛を担う部隊やドローンの活用に積極的であったドンバスの部隊等に限定されていた使用部隊<sup>40</sup>は、2024年以降は、陸軍の各旅団の偵察大隊レベルまで増加しているとされる<sup>41</sup>。また、使用部隊は陸軍だけでなく、空中強襲軍等の他軍種、ウクライナ国防省情報総局（HUR）やウクライナ保安庁（SBU）といった治安組織など多岐に渡っている<sup>42</sup>。このように、ドローンによるISRは質、量とも大きく向上したといえる。

## （2）指揮統制

指揮統制については、情報共有システムの発達及び使用部隊の拡大、そしてそれに伴うドローンに関する指揮系統の改革が進められた。

まず、情報共有システムの発達について、ここではタブレットなどで情報共有が可能であり、有用性が強調されているDelta<sup>43</sup>に焦点を当てる。Deltaは、当初、限られた部隊間での敵位置情報の共有を目的とした情報共有システムであったが、2023年には、ウクライナのドローンに加え、F-16等の欧米製兵器との接続が可能になった<sup>44</sup>。機能の拡大も進められた結果、Deltaは、単なる敵の位置の共有だけではなく、ドローン等の動画のリアルタイムの動画配信、安全なチャット機能等の統合プラットフォームに発展した<sup>45</sup>。また、2022年時点では限られていた使用部隊<sup>46</sup>は、2023年の軍全体への導入決定後、現場での有用性が認識され増加していった<sup>47</sup>。Deltaの概観は図1である<sup>48</sup>。

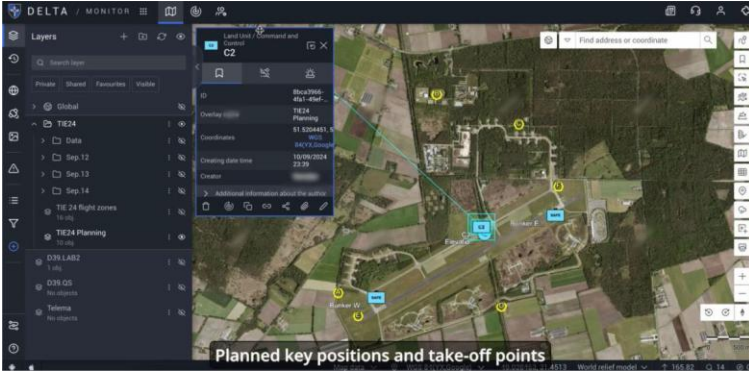


図1：Deltaの概観

出典：Zoria, "Ukraine's AI war room just got real - DELTA now scales across the entire military."

また、ドローンに関する指揮系統の改革について、ウクライナはその運用に合わせ分権的な指揮系統を取り入れた。その表れが、2024年に発足した無人システム軍であった。その主な任務は、実際の戦闘、ドローンの開発や調達に加え、他部隊への訓練及びミッション計画支援<sup>49</sup>と多岐にわたり、その存在はドローン運用部隊を支援する組織として機能している<sup>50</sup>。

このように、ドローンに係るウクライナの指揮統制は、情報共有システムの性能向上及びその普及に伴い、指揮系統の分権化という革新的な姿に変貌した。

### （3）持続性

持続性については、作戦の継続実施を可能にするための生産及び訓練面の改善と、持続的な火力発揮を実現するドローンの性能の向上及び製造数の増加が図られてきた。

生産面について、大規模侵略以前に7社であったドローン生産会社は、2023年秋には80以上<sup>51</sup>、2025年3月には150以上に増加している<sup>52</sup>。加えて、生産設備の分散化と海外からの資金調達のため、国内企業と外国企業との協業が進められた<sup>53</sup>。

訓練面においては、民間の訓練学校も活用し持続的な人材確保が図られている。例えば、ドローン操縦者の訓練期間は、比較的複雑な固定翼偵察ドローンで最短1か月程度とされる<sup>54</sup>。ウクライナでは、所要の増加に見合うドローン操縦者の数を確保するため、退役軍人などを中心に訓練学校が設立された。結果、

2023 年から 2024 年で 2 万人を超える操縦者が民間訓練学校で訓練されたとされる<sup>55</sup>。

火力に関しては、ドローンの発展とともに、性能と量の両面が向上した。2022 年半ばの M142 高機動ロケット砲システム（High Mobility Artillery Rocket System: HIMARS）の導入により、ウクライナは性能面での向上を果たした一方、攻撃目標について米の許可を要する等の制約を受けた<sup>56</sup>。これを踏まえ、ウクライナでは、多様なドローンの開発及び性能向上が図られた。例えば、近距離における攻撃手段として 2023 年に出現した FPV ドローンは、当初 5km 以下であった航続距離を 15km 以上に拡大している<sup>57</sup>。加えて、2023 年以降は、20km 以上の航続距離とペイロード 3kg 程度の FPV ドローンにはるかに勝る 20kg 以上のペイロードを備えた大型マルチコプターの運用が本格化した<sup>58</sup>。また、射程数十 km の精密攻撃の手段となる徘徊型弾薬については、海外製の導入に加えて、国内開発も進められた<sup>59</sup>。さらに、大規模侵略以降に開発された長距離ドローンは、当初 300km であった航続距離を 1,000km 以上にまで延伸している<sup>60</sup>。

さらに、これらの攻撃手段のウクライナ国内における製造数は、急激に拡大した。2022 年の製造数は、小型ドローンも含め、ドローン全体で 5,000 機であったが、2024 年には、FPV ドローンは 110 万機、大型マルチコプター等は 2,000 機以上、長距離攻撃ドローン等は 6,000 機にまで達した<sup>61</sup>。

これらドローンの量は、他の兵器と比較し大きな優位性を持つ。特に、供給を米等に依存する射程数十 km 以上の攻撃手段において、この点は顕著である。例えば、大規模侵略以降のウクライナが受領した数について、HIMARS 用弾薬である ATACMS、航空機からの投射手段であるストームシャドウともに 500 程度であるとされる上、米の支援停止等のため継続的な入手に大きな制約を受けた<sup>62</sup>。つまり、ドローンはこれら手段と比較しペイロード等性能に劣るものの、その量の豊富さのため、持続性確保の中心的な手段となったといえる。

そして、ドローンを運用する組織も増加している。例えば FPV ドローンについて、2023 年に、陸軍に初の攻撃ドローン専門の中隊が創設されたが、2024 年には各大隊に FPV ドローン中隊が創設されている<sup>63</sup>。また、大型マルチコプターは、陸軍をはじめ 100 以上の部隊で運用され<sup>64</sup>、徘徊型弾薬も、治安組織を中心に運用されている<sup>65</sup>。

#### （４）３つの要素の発展による作戦的課題への適応

ウクライナは、ドローンを中心に、ISR、指揮統制、持続性という相互に関連

する3つの要素を連携して発展させることで、広大な戦域と優勢な敵地上部隊という作戦的課題への適応を可能にした。例えば、2022年のハルキウ及びヘルソン反攻では、固定翼偵察ドローンのISR情報を、Deltaを使用し欧米製兵器の運用部隊等に迅速に共有することで、橋や補給基地に対する効果的な航空阻止を実現した<sup>66</sup>。さらに、2023年以降、南部ウクライナのロシア占領地域への主要な補給路であるクリミア地方の橋や施設に対する攻撃を、大量の長距離攻撃ドローンを用いることで継続的に実施した<sup>67</sup>。

さらに、ウクライナは、3要素を迅速に発展させることで、戦争の継続に伴い新たに出現した作戦的課題への適応を可能にしたといえる。

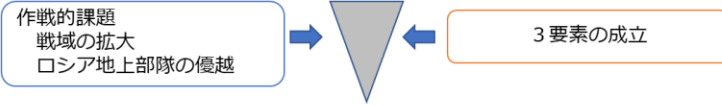
その事例の一つとしては、ロシアの電子戦能力の向上に対する適応が挙げられる。ドローンや欧米製の精密誘導兵器を妨害するロシアの電子戦能力の拡大の結果、ウクライナは、月に10,000機ともいわれるドローンを損失<sup>68</sup>するとともに、HIMARS等の欧米製兵器の効果も著しく減少したため、ISRと火力の両方の能力を大きく低下させた<sup>69</sup>。この状況に対しウクライナは、ドローン使用周波数を2週間程度という短い間隔で切り替えることにより、航空阻止の実施に必要なISR能力や火力の維持に成功した<sup>70</sup>。

事例の二つ目は、ロシア部隊の分散化に対する適応である。HIMARS等への対抗手段として、ロシアは大規模な兵站基地をロシア国内へ移動するとともに、前線近くの部隊を分散させた<sup>71</sup>。これに対しウクライナは、固定翼ドローンの運用を拡大するとともに、ドローンを含め多様な手段を発展させることで、持続的な精密攻撃を可能にした。例えば、2023年からのドニプロ川西岸の作戦では、大型マルチコプターや航空機により兵站基地や移動部隊等を攻撃した<sup>72</sup>。また、2024年のクルスク侵攻では、浮棧橋や移動部隊などの標的に対し、固定翼偵察ドローンと攻撃用の各種ドローン及び火砲等を連携することで攻撃に成功している<sup>73</sup>。このように、3要素の質的、量的向上により、ウクライナが分散化した標的に対応したことを確認できる<sup>74</sup>。

これらの適応の推移を整理したものが図2である。

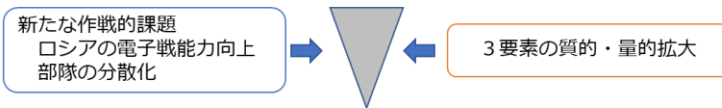
大規模侵略初頭：2022年2月～

| 目標    | 発見                  | 照準     | 交戦            |
|-------|---------------------|--------|---------------|
| 移動部隊等 | 商用ドローン<br>固定翼偵察ドローン | 商用ドローン | 榴弾砲<br>商用ドローン |



作戦的課題（戦線の拡大と優勢な敵地上部隊）への適応：2022年中頃～

| 目標    | 発見                  | 照準                  | 交戦                            |
|-------|---------------------|---------------------|-------------------------------|
| 主要な橋  | 固定翼偵察ドローン<br>衛星情報   | 固定翼偵察ドローン<br>衛星情報   | HIMARS<br>有人機からの攻撃<br>長距離ドローン |
| 兵站基地  | 固定翼偵察ドローン<br>衛星情報   | 固定翼偵察ドローン<br>衛星情報   | HIMARS<br>有人機からの攻撃<br>長距離ドローン |
| 移動部隊等 | 商用ドローン<br>固定翼偵察ドローン | 商用ドローン<br>固定翼偵察ドローン | 榴弾砲<br>徘徊型弾薬<br>FPVドローン       |



新たな作戦的課題（ロシアの電子戦能力向上と部隊の分散化）への適応：2023年後半頃～

| 目標    | 発見                  | 照準                  | 交戦   |                                       |
|-------|---------------------|---------------------|--|---------------------------------------|
| 橋     | 主要な橋                | 固定翼偵察ドローン<br>衛星情報   | 固定翼偵察ドローン<br>衛星情報                              | HIMARS<br>有人機からの攻撃<br>長距離ドローン         |
|       | 浮棧橋                 | 固定翼偵察ドローン<br>衛星情報   | 固定翼偵察ドローン<br>衛星情報                              | HIMARS<br>榴弾砲<br>大型マルチコプター<br>FPVドローン |
| 兵站基地  | 大規模                 | 固定翼偵察ドローン<br>衛星情報   | 固定翼偵察ドローン<br>衛星情報                              | HIMARS<br>有人機からの攻撃<br>長距離ドローン         |
|       | 近傍                  | 固定翼偵察ドローン<br>商用ドローン | 固定翼偵察ドローン<br>商用ドローン                            | 大型マルチコプター<br>FPVドローン                  |
| 移動部隊等 | 商用ドローン<br>固定翼偵察ドローン | 商用ドローン<br>固定翼偵察ドローン | HIMARS<br>榴弾砲<br>徘徊型弾薬<br>大型マルチコプター<br>FPVドローン |                                       |

（赤字：ドローン、黒字：それ以外の手段）

図2：ウクライナのドローンを用いた航空阻止と作戦的課題への適応

出典：各種報道を基に筆者作成

## 結論

ウクライナによる航空阻止で、ドローンは中核的役割を果たしている。標的に対するキルチェーンの全段階においてドローンの使用は拡大され、活用された。ロシアの大規模侵略による戦域の拡大、量的に優越する敵地上部隊、航空機の不足という作戦的課題に早期に適応するため、ウクライナは、ドローンを中心とした航空阻止を早期に実現した。

また、戦争の経過に伴い生じた新たな作戦的課題に対しても、ウクライナはISR、指揮統制、持続性という航空阻止の3要素を質的、量的に早期に向上させることで適応した。加えて、ドローンへのジャミング、目標の分散化といった課題に対しても、ドローンの性能向上等の技術的改良と、運用組織の拡大及び組織間連携の強化といった、人的・組織的發展によって対応した。つまり、ウクライナは戦力の非対称性をはじめとした、様々な作戦的課題に早期に適応するために、ドローン中心の航空阻止の実現と3要素の発展という適応により、戦いを継続させたといえる。

最後に、ウクライナが実施しているドローンによる航空阻止における適応は、既存のエアパワー論の前提に挑戦するものであることを示唆している。これまでのエアパワー論は、高性能かつ高価で、開発と訓練に長期間を要する少数の航空機の運用を議論の前提としてきた。また、この点は各国の軍事ドクトリンにおいて、エアパワーの特質として表現されてきた<sup>75</sup>。言い換えれば、従来のエアパワー論は、「パワーの希少性」を議論の前提とし<sup>76</sup>、そのため量的側面を軽視するという限界を有していた。これに対し、ウクライナのアプローチは、「安価、精密、大量」という特質を持つドローンを航空阻止の中心とすることにより、作戦的課題への機敏な適応を可能としている。ウクライナの事例は、既存のエアパワー論の前提を再考する必要性を示唆している。

---

<sup>1</sup> Molly Carlough and Benjamin Harris, "Comparing the Size and Capabilities of the Russian and Ukrainian Militaries," *Council on Foreign Relations*, June 2025, <https://www.cfr.org/in-brief/comparing-size-and-capabilities-russian-and-ukrainian-militaries>.

<sup>2</sup> 先行研究において、ウクライナで運用されている多くのものはおおむね 600kg 以下（Class 1・3 で分類する NATO 基準で Class 2）であるとされている。本稿ではこれらを総称して「ドローン」と呼び議論を進める。Marcel Plichta and Ash Roositer, "A one-way attack drone revolution? Affordable mass precision in modern conflict," *Journal of Strategic*

*Studies*, Vol. 47, Nos. 6-7, August 2024, p. 1001; Dominika Kunertova, "Drones have boots: Learning from Russia's war in Ukraine," *Contemporary Security Policy*, Vol. 44, No. 4, p. 578. NATO 基準については以下を参照。Jeffrey L. Harrigian ed., *A Comprehensive Approach to Countering Unmanned Aircraft Systems*, Joint Air Power Competence Centre, 2021, pp. 510, 511.

<sup>3</sup> 本稿では military adaptation と呼ばれる概念を「適応」と表現する。Michael C. Horowitz and Shira Pindyck, "What is a military innovation and why it matters," *Journal of Strategic Studies*, Vol. 46, No. 1, May 2023, p. 88.

<sup>4</sup> 本稿で分析する「航空阻止」とは、ドローンを中心とする一方、後述するキルチェーンの一部を、地上火力等の手段も用いられる活動とする。後述するように、現代において、航空機単独によるキルチェーン構成はまれといえる。また、米軍において、地上火力主体の場合も航空機主体の場合も、基本的な考え方は同様とされている。U.S.

Department of Defense, *JP 3-03: Joint Interdiction*, The Joint Staff, 2016, 1-2 - 1-4, I-9 - 1-11, II-7.

<sup>5</sup> Keith L. Carter, "Coming soon to a theater (of war) near you: drones of all shapes and sizes," Paule Lushenko, Srinjoy Bose and Wiliam Maley eds., *Drones and Global Order: Implications of Remote Warfare for International Society*, Routledge, 2022, p. 203.

<sup>6</sup> Jules Hurst, "Small Unmanned Aerial Systems and Tactical Air Control," *Air and Space Power Journal*, Spring 2019, p. 29; T. X. Hammes, "Cheap Technology Will Challenge U.S. Tactical Dominance," *Joint Force Quarterly*, Vol. 81, April 2016, p. 79.

<sup>7</sup> 例えば Amos C. Fox, "The Russia-Ukraine War: It Takes a Land Force to Defeat a Land Force," *Military Review*, March 2025, p. 5.

<sup>8</sup> 例えば Plichta and Roositer, "A one-way attack drone revolution?," p. 7.

<sup>9</sup> 例えば Michael P. Kreuzer, "Beyond Air Superiority: The Growing Air Littoral and Twenty-First-Century Airpower," *Aether: A Journal of Strategic Air and Spacepower*, Vol. 3, No. 3, Fall 2024, p. 50.

<sup>10</sup> U.S. Department of Defense, *AFDP 3-03: Counterland Operations*, U.S. Air Force, 2024, p. 21.

<sup>11</sup> Robert A. Pape, *Bombing to Win: Air Power and Coercion in War*, Cornell University Press, 1996, p. 318.

<sup>12</sup> Phil Haun, *Tactical Air Power and the Vietnam War: Explaining Effectiveness in Modern Air Warfare*, Cambridge university Press, 2024, pp. 225 - 227.

<sup>13</sup> Angela Dewan, "Ukraine and Russia's militaries are David and Goliath. Here's how they compare," *CNN*, February 25, 2022,

<https://edition.cnn.com/2022/02/25/europe/russia-ukraine-military-comparison-intl>.

<sup>14</sup> F-16 導入を巡る動きは、以下の文献を参照。青柳加奈子「F-16 供与とエスカレーション」『JASI レポート』R6-04号、2024年5月、7-10頁。

<sup>15</sup> 例えば Heloise Fayet and Leo Peria-Peigne, *Deep Precision Strikes: A New Tool for Strategic Competition?*, Ifri, 2024, pp. 12-14, 42-44,

<https://www.ifri.org/en/studies/deep-precision-strikes-new-tool-strategic-competition>.

<sup>16</sup> 例えば Frederik W. Kagan et.al, *Ukraine and the Problem of Restoring Maneuver in Contemporary War*, Institute Studies of War, 2024, p. 58,

<https://www.understandingwar.org/backgrounder/ukraine-and-problem-restoring-maneuver-contemporary-war>.

<sup>17</sup> Theo Farrell, "Introduction: Military Adaptation in War," Theo Farrell Frans Osinga and James A.

Russell eds., *Military Adaptation in Afghanistan*, Stanford University Press, 2013, p. 2.

<sup>18</sup> Horowitz and Pindyck, "What is a military innovation and why it matters," p. 95.

<sup>19</sup> Ibid.; Kendrick Kuo, *Military Magic: The Promise and Peril of Military Innovation*,

The George Washington University, 2021, p. 23.

<sup>20</sup> Mick Ryan, *The War for Ukraine: Strategy and Adaptation Under Fire*, Naval Institute Press, pp. 169, 173.

<sup>21</sup> Valerii Zaluzhnyi, "On the Modern Design of Military Operations in the Russo-Ukrainian War: In the Fight for the Initiative," *CNN*, February 1, 2024, pp. 4, 5, <https://s3.documentcloud.org/documents/24400154/ukraine-valerii-zaluzhnyi-essay-design-of-war.pdf>.

<sup>22</sup> U.S. Department of Defense, *AFDP 3-03*, p. 28.

<sup>23</sup> *Ibid.*, pp. 2, 3, 27. 指揮統制とは、「ミッション達成のため、隷属、配属された部隊への権限の実行と指揮官の指示を含んだもの」と定義される。U.S. Department of Defense, *JP 3-0: Joint Operations*, The Joint Staff, 2018, III-2.

<sup>24</sup> U.S. Department of Defense, *AFDP 3-03*, p. 29.

<sup>25</sup> Heath R. Penny, "Scale, Scope, Speed and Survivability: Winning the Kill Chain Competition," *Mitchell Institute Policy Paper*, Vol. 40, May 2023, p. 1, <https://www.mitchellaerospacepower.org/scale-scope-speed-survivability-winning-the-kill-chain-competition/>.

<sup>26</sup> Stacie Pettyjohn et al, *Swarms over the Strait: Drone Warfare in a Future Fight to Defend Taiwan*, CNAS, 2024, p. 5, <https://www.cnas.org/publications/reports/swarms-over-the-strait>.

<sup>27</sup> ウクライナは現在交戦中という資料上の制約に加え、発見及び照準は観測が困難な活動であるといえる。先行研究はこの前提を踏まえつつ各種報道を基礎にしており、本稿もこれを踏襲する。

<sup>28</sup> 本稿では、航空阻止の厳密な定義を目指す議論を批判しつつ代表的な標的に言及する、ジョン・ワーデン (John A. Warden) の議論に依拠する。John A. Warden, *The Air Campaign*, toExcel Press, 2000, p. 72.

<sup>29</sup> Isabelle Khurshudyan et al., "Ukraine's rocket campaign reliant on U.S. precision targeting, officials say," *The Washington Post*, February 9, 2023, <https://www.washingtonpost.com/world/2023/02/09/ukraine-himars-rocket-artillery-russia/>.

<sup>30</sup> David Hambling, "Every Single Drone Fighting In Russia's War Against Ukraine," *Popular Mechanics*, June 23, 2022, <https://www.popularmechanics.com/military/a40298287/drone-fighting-ukraine-war-russia/>.

<sup>31</sup> Joe Gould, "AeroVironment wins \$20M contract for hand-launched drone for Ukraine," *Defense News*, April 20, 2022, <https://www.defensenews.com/industry/2022/04/20/aerovironment-inks-20m-contract-for-hand-launched-drone-to-ukraine/>.

<sup>32</sup> "Demonstrates Its New Shark UAV Target Tracking Capabilities (Video)," *Defense Express*, November 10, 2022, [https://en.defence-ua.com/weapon\\_and\\_tech/ukrainian\\_drone\\_maker\\_demonstrates\\_its\\_new\\_shark\\_uav\\_target\\_tracking\\_capabilities\\_video-4803.html](https://en.defence-ua.com/weapon_and_tech/ukrainian_drone_maker_demonstrates_its_new_shark_uav_target_tracking_capabilities_video-4803.html).

<sup>33</sup> "American RQ-20 Puma Drone Hunts for Russian S-300 SAM, TOS-1 Systems, Other Weapons," *Defense Express*, May 14, 2024, [https://en.defence-ua.com/news/american\\_rq\\_20\\_puma\\_drone\\_hunts\\_for\\_russian\\_s\\_300\\_sam\\_tos\\_1\\_systems\\_other\\_weapons-10506.html](https://en.defence-ua.com/news/american_rq_20_puma_drone_hunts_for_russian_s_300_sam_tos_1_systems_other_weapons-10506.html).

<sup>34</sup> Кирило Кушніков, "Latest SHARK-M will be able to conduct reconnaissance to a distance of 180 km," *Militarnyi*, January 30, 2025, <https://militarnyi.com/en/news/latest-shark-m-will-be-able-to-conduct-reconnaissance-to-a-distance-of-180-km/>.

<sup>35</sup> Myroslav Liskovych, "Drone strike exchange new phase of war in which Ukraine looks good," *Ukrinform*, May 12, 2023, <https://www.ukrinform.net/rubric-ato/3708504->

drone-strike-exchange-new-phase-of-war-in-which-ukraine-looks-good.html.

<sup>36</sup> "Defense Ministry details record-breaking drone support for Ukraine's force," *The New Voice of Ukraine*, December 11, 2024, <https://english.nv.ua/nation/1-1-million-kamikaze-drones-ukraine-s-fpv-arsenal-grows-in-2024-50473330.html>.

<sup>37</sup> *A1 CM Furia*, Athlonavia, <https://athlonavia.com/en/furia/>, accessed October 3, 2025.

<sup>38</sup> *SHARK D UAS*, Ukrspesystems, <https://ukrspesystems.com/drones/shark-uas>, accessed October 3, 2025.

<sup>39</sup> *Puma 3AE*, AV, <https://www.avinc.com/uas/puma-ae>, accessed October 3, 2025.

<sup>40</sup> Stacie Pettyjohn, *Evolution not Revolution: Drone Warfare in Russia's 2022 Invasion of Ukraine*, CNAS, 2024, p. 25.

<sup>41</sup> Mykhailo Samus, *Lessons Learned from the War in Ukraine: The Impact of Drones*, New Strategy Center, 2024, p. 9, <https://newstrategycenter.ro/project/lessons-learned-from-the-war-in-ukraine-the-impact-of-drones-2/>.

<sup>42</sup> "Shark UAVs Purchased by Ukrainian Volunteers Helped Destroy Russia's Equipment Worth Hundreds of Millions Dollars," *Defense Express*, September 12, 2023, [https://en.defence-ua.com/weapon\\_and\\_tech/shark\\_uavs\\_purchased\\_by\\_ukrainian\\_volunteers\\_helped\\_destroy\\_russias\\_equipment\\_worth\\_hundreds\\_of\\_millions\\_dollars-7916.html](https://en.defence-ua.com/weapon_and_tech/shark_uavs_purchased_by_ukrainian_volunteers_helped_destroy_russias_equipment_worth_hundreds_of_millions_dollars-7916.html).

<sup>43</sup> Oleg Danylov, "The unique Ukrainian situational awareness system Delta was presented at the annual NATO event," *Mezha*, October 28, 2022, <https://mezha.media/en/2022/10/28/the-unique-ukrainian-situational-awareness-system-delta-was-presented-at-the-annual-nato-event/>.

<sup>44</sup> Tetiana Lozovenko, "Ukraine's Delta system passes NATO tests and can integrate F-16s," *Ukrainska Pravda*, July 11, 2023, <https://www.pravda.com.ua/eng/news/2023/07/11/7410815/>.

<sup>45</sup> Pete Shmigel, "Drone Operator Beats Battlefield Wounds - and Cancer," *Kyiv Post*, October 1, 2024, <https://www.kyivpost.com/post/39803>.

<sup>46</sup> Julian Borger, "Our weapons are computers' Ukrainian coders aim to gain battlefield edge," *The Guardian*, December 18, 2022, <https://www.theguardian.com/world/2022/dec/18/our-weapons-are-computers-ukrainian-coders-aim-to-gain-battlefield-edge>.

例えば 2022 年 7 月時点での報道において、Leleka-100 を運用する領土防衛軍の部隊と砲兵部隊との情報共有は音声であった。Jason Beaubien, "In the Russia Ukraine war, drones are one of the most powerful weapons," *NPR*, July 30, 2022, <https://www.npr.org/2022/07/30/1114024870/russia-ukraine-war-drones>.

<sup>47</sup> Giles Ebbutt, "Ukraine's digital natives drive C4 capabilities," *Jane's Defence Weekly*, October 17, 2023, <https://www.janes.com/osint-insights/defence-news/c4isr/ukraines-digital-natives-drive-c4-capabilities>.

<sup>48</sup> Yuri Zoria, "Ukraine's AI war room just got real - DELTA now scales across the entire military," *Euromaidan Press*, August 7, 2025, <https://euromaidanpress.com/2025/08/07/ukraines-delta-battlefield-management-system/>.

<sup>49</sup> "Vadym Shkharevsky, Commander, Unmanned Systems Forces, *Ukrainform*," August 31, 2024, <https://kyivindependent.com/commander-of-ukraines-unmanned-systems-forces-replaced/>.

<sup>50</sup> Kateryna Bondar, *Why Ukraine is Establishing Unmanned Forces Across Its Defense Sector and What the United States Can Learn from It*, CSIS, 2024, <https://www.csis.org/analysis/why-ukraine-establishing-unmanned-forces>. ただし、最近では無人システム軍の非効率性も指摘されている。Roman Romaniuk, Olha Kyrylenko, "The Drone Line: what is it, and can five units stop the Russian advance," *Ukrainska Pravda*, May 5, 2025,

<https://www.pravda.com.ua/eng/articles/2025/05/5/751082>.

<sup>51</sup> Ian Pannell and Allie Weintraub, "Inside Ukraine's efforts to bring an 'army of drones' to war against Russia," *ABC News*, September 15, 2023

<https://abcnews.go.com/US/inside-ukraines-efforts-bring-army-drones-war-russia/story?id=103152130>.

<sup>52</sup> "Ukraine has capacity to produce 5 million FPV drones per year, advisor says," *Kyiv Independent*, March 31, 2025, Ukraine has capacity to produce 5 million FPV drones per year, advisor says, <https://kyivindependent.com/ukraine-can-produce-5-million-drones-per-year-advisor-says/>.

<sup>53</sup> Olena Mukhina, "Polish defense company to produce Ukrainian SHARK and PD-2 drone," *Euromaidan Press*, September 4, 2024,

<https://euromaidanpress.com/2024/09/04/polish-defense-company-to-produce-ukrainian-shark-and-pd-2-drones/>.

<sup>54</sup> "American RQ-20 Puma Drone Hunts for Russian S-300 SAM, TOS-1 Systems, Other Weapons."

<sup>55</sup> Molloy, *Drones in Modern Warfare*, p. 67.

<sup>56</sup> "Ukrainian Air Forces Shows New Video of Destruction of Russian Logistics in Kursk Region," *Defense Express*, August 18, 2024; Lara Jakes, "For Western Weapons, the Ukraine War Is a Beta Test," *The New York Times*, November 15, 2022.

<sup>57</sup> "Ukraine's FPV drone usage rises 25% as military aims to stay ahead in drone warfare," *The New Voice of Ukraine*, September 6, 2024,

<https://english.nv.ua/nation/ukraine-increases-fpv-drone-use-by-25-in-august-commander-highlights-tactical-shift-50448771.html>.

<sup>58</sup> Shachar Berdishevsky, "WATCH Ukraine targets Russian tanks ammo with Vampire drones", *The Jerusalem Post*, August 23, 2023,

<https://www.jpost.com/international/internationalrussia-ukraine-war/article-755908>.

<sup>59</sup> Sebastian Roblin, "War of the Robots: The Battle for Avdiivka," *inside unmanned systems*, October 15, 2024, <https://insideunmannedsystems.com/war-of-the-robots-the-battle-for-avdiivka/>.

<sup>60</sup> Tom Balmforth, "Ukraine to produce thousands of long-range drones in 2024, minister says," *Reuters*, February 12, 2024.

<sup>61</sup> "Defense Ministry details record-breaking drone support for Ukraine's force."

<sup>62</sup> "Ukraine depletes ATACMS stockpile, raising concerns over missile shortage – AP," *The New Voice of Ukraine*, March 13, 2025, <http://english.nv.ua/nation/ukraine-runs-out-of-atacms-limiting-deep-strikes-on-russian-targets-50497467.html>;

Chris York, "3,350 ERAM missiles are heading to Ukraine - Here's how they can be used against Russia," *The Kyiv Independent*, August 31, 2025, <http://kyivindependent.com/3-350-eram-missiles-are-heading-to-ukraine-heres-how-they-can-be-used-against-russia/>.

<sup>63</sup> Samus, *Lessons Learned from the War in Ukraine*, p. 9.

<sup>64</sup> "Form drone, jet interceptor drone and "Vampire": developers presented defense innovations in Kyiv," *UNN*, October 8, 2024, <https://unn.ua/en/news/foam-drone-jet-interceptor-drone-and-vampire-developers-presented-defense-innovations-in-kyiv>.

<sup>65</sup> 例えは"Security Service of Ukraine uses Ram S loitering munitions," *Militarnyi*, September 5, 2024, <https://militarnyi.com/en/news/security-service-of-ukraine-uses-ram-s-loitering-munitions/>.

<sup>66</sup> Isabelle Khurshudyan et al., "Inside the Ukrainian counteroffensive that shocked Putin and reshaped the war," *The Washington Post*, December 29, 2022,

<https://www.washingtonpost.com/world/2022/12/29/ukraine-offensive-kharkiv-kherson-donetsk/>.

<sup>67</sup> Nicole Wolkov and Mason Clark, *Special Edition Campaign Assessment: Ukraine's Strike Campaign Against Crimea*, International Studies of War, 2023, p. 3,

<https://www.understandingwar.org/backgrounders/special-edition-campaign->

assessment-ukraine%E2%80%99s-strike-campaign-against-crimea: "Kerch Bridge Traffic Halted Overnight As Blasts Reported Over Russian-Occupied Crimea," *Radio Free Europe Radio Liberty*, August 16, 2024, <https://www.rferl.org/a/russia-ukraine-war-crimea-drones-kerch-bridge/33080939.html>.

<sup>68</sup> Jack Watling and Nick Reynolds, *Meatgrinder: Russian Tactics in the Second Year of Its Invasion of Ukraine*, RUSI, 2023, p. 18, <https://www.rusi.org/explore-our-research/publications/special-resources/meatgrinder-russian-tactics-second-year-its-invasion-ukraine>.

<sup>69</sup> Yaroslav Trofimov, "High-Tech American Weapons Work Against Russia: Until They Don't," *The Wallstreet Journal*, July 10, 2024, <https://www.wsj.com/world/us-weapons-russia-ukraine-0eed240c>.

<sup>70</sup> Olivia Savage, "Feature: Ukraine conflict drives rapid evolution UAS and C-UAS," *Jane's International Defence Review*, August 16, 2024.

<sup>71</sup> Michael Kofman, *Assessing Russian Military Adaptation in 2023*, Carnegie Endowment for International Peace, 2024, p. 37, <https://carnegieendowment.org/research/2024/10/assessing-russian-military-adaptation-in-2023?lang=en>.

<sup>72</sup> "Frontline report New French AASM bombs deployed by Ukraine against Russian targets in occupied Kherson Oblast," *Euromaidan Press*, May 6, 2024, <https://euromaidanpress.com/2024/05/06/frontline-report-new-french-aasm-bombs-deployed-by-ukraine-against-russian-targets-in-occupied-kherson-oblast/>; "Frontline report: Pontoon bridges bolster Ukrainian logistics near Krynky bridgehead," *Euromaidan Press*, November 21, 2023, <https://euromaidanpress.com/2023/11/21/frontline-report-pontoon-bridges-bolster-ukrainian-logistics-near-krynky-bridgehead/>.

<sup>73</sup> "Ukrainian Special Ops Target Russian Logistics in Kursk with Drone and Artillery Strikes," *Kyiv Post*, September 6, 2024, <https://www.kyivpost.com/post/38539>; Howard Altman, "Ukraine Bracketing Key Kursk Highway With Drones To Slow Russian Logistics," *The Drive WarZone*, August 28, 2024, <https://www.twz.com/air/ukraine-bracketing-key-kursk-highway-with-drones-to-slow-russian-logistics>.

<sup>74</sup> John B. Bradley III, "Fires," John A. Nagl and Katie Crombe eds., *A Call to Action: Lessons from Ukraine for the Future Force*, USA WC Press, 2024, p. 106.

<sup>75</sup> Joint Doctrine Publication 0-30: UK Air Power (3rd Edition), UK Ministry of Defence, 2022, p. 7.

<sup>76</sup> Peter R. Faber, "Paradigm Lost: Airpower Theory and Its Historical Struggles," John A. Olsen ed., *Airpower Reborn*, Naval Institute Press, pp. 17 - 19.