

軍用AIの最新動向および次世代指揮統制システム

2024年11月14日

株式会社エヌ・エス・アール
上級研究員 木村初夫

本講演および講演資料の内容については、木村初夫個人の見解を述べたものであり、株式会社エヌ・エス・アールを代表するものではありません。

目 次

1. はじめに

第1部 軍用AIの最新動向

2. 軍用AI技術の最新動向

3. 軍用AI適用の最新動向

第2部 次世代指揮統制システム

4. 日本の指揮統制システムの現状と課題

5. 米中露の指揮統制システムの動向

6. 次世代指揮統制システムのための技術動向

7. 次世代指揮統制システムのあるべき姿

8. まとめ

1. はじめに

近年、**軍用AI技術と指揮統制システム**は著しい進化を遂げ、現代の軍事作戦において重要な役割を果たしている。AIの導入は、**迅速で正確な意思決定を支援**する一方で、**自律型兵器の開発、情報優位性の確保、サイバー防御強化**など、軍事作戦のあらゆる局面において画期的な変革をもたらしている。

本講演では、**軍用AI技術の最新動向や軍用AI適用の最新動向**（『The Very Long Game』の調査結果の紹介）および**次世代指揮統制システムの開発状況**について、国内外の事例を交えつつ、その進化と課題を説明する。

まず、軍用AI技術は進化の過程で、単なる**ルールベースから統計的学習**、さらには**文脈理解と自己学習を行う認知AI**へと発展し、複雑な軍事環境に対応可能な**高精度の技術**が実用化されている。これにより、米国の共同統合全領域指揮統制（CJADC2）に代表されるように、**全領域にわたるマルチモダリティのリアルタイムデータ統合と最適な意思決定支援**が現実のものとなりつつある。

本講演では、AIの進化とその軍事応用に焦点を当て、日本の防衛分野における技術的課題と解決の方向性、ならびに今後の軍用AIおよび次世代指揮統制システムのありべき姿について説明する。

本講演の構成

軍用AI技術の最新動向

- ・ 軍用AI技術の進化（AIの3つの波）
- ・ 生成AI（トランスフォーマー、LLM）
- ・ マルチモーダルAI
- ・ 最適化
- ・ マルチエージェントシステム
- ・ 日本の今後の軍用AI適用事例
 - ・ 極超音速ミサイル迎撃のためのマルチモーダルリアルタイムデータ統合
 - ・ コンステレーション衛星の最適衛星軌道配置設計
 - ・ AI無人機による次期戦闘機の支援

軍用AI適用の最新動向

『The Very Long Game』
の調査結果の紹介

- ・ 25か国の国防AIに関する調査結果（**思考、開発、組織、資金、運用、訓練**）の概要
- ・ 米国、中国、ロシア、ウクライナ、イスラエルの国防AIの概要

次世代指揮統制システム

- ・ 日本の指揮統制システムの現状と課題
- ・ 米中露の次世代指揮統制システムの動向
- ・ 次世代指揮統制システム構築のための技術動向
- ・ 次世代指揮統制システムのあるべき姿

第1部 軍用AIの最新動向

2. 軍用AI技術の最新動向

3. 軍用AI適用の最新動向

2. 軍用AI技術の最新動向

2.1 軍用AI技術の定義と進化

2.2 主要AI技術の概要

2.3 軍用AIにおける少量データの克服のための技術

2.4 AI安全性

2. 軍用AI技術の最新動向

2.1 軍用AI技術の定義と進化

軍用AI技術の定義と重要性

- **定義**：軍用AI技術とは、AI技術を軍事目的で応用し、**自律型兵器システム、指揮統制（C2）、情報収集・偵察（ISR）、サイバー戦、シミュレーションと訓練**など様々な分野で活用される技術。
- **重要性**：AI技術が戦術的な優位を得るための重要な要素
 - **迅速な意思決定**：AIが膨大なデータを瞬時に解析し、指揮官のリアルタイムな意思決定を支援。
例：JADC2での統合全領域指揮統制。
 - **自律性の向上**：AI搭載の自律型兵器システムが、目標を自動で選定・攻撃し、人的リスクを低減。
例：自律型ドローンの敵追跡と攻撃。
 - **情報優位性**：AIが衛星やセンサーからのデータをリアルタイムで処理し、情報戦での優位性を確保。
例：衛星画像からの自動目標検出。
 - **人的リスクの低減**：自律システムにより、兵士の戦場リスクを最小限に抑える。
例：危険地帯での自律型ロボットによる偵察。
 - **サイバー防御の強化**：AIがサイバー脅威を自動で検出し、即座に対応。
例：異常なトラフィックの検出と防御。

2. 軍用AI技術の最新動向

2.1 軍用AI技術の定義と進化

軍用AI技術の進化				
AIの波	コア技術	定義	特徴	軍用AIの適用事例
第一波AI	ルールベースAI (Symbolic AI)	人間が定義したルールや知識を使って、特定のタスクや状況に対応する。	知識ベースのシステム、エキスパートシステム。環境の変化や柔軟性には弱い。	エキスパートシステム ：ルールベースで敵の行動予測や兵器運用を支援。
第二波AI	統計的学習AI (Statistical AI)	機械学習や深層学習を使用して、膨大なデータからパターンや規則性を発見し、予測や識別を行う。	データ駆動型の機械学習、深層学習、パターン認識。大量のデータが必要。解釈性が低く、予測に依存。	無人航空機（UAV）の自律飛行 ：統計的分析に基づく飛行と目標識別。 衛星画像解析 ：深層学習による自動解析。 サイバー防御システム ：AIによる脅威検出。 JADC2 ：リアルタイムのデータ統合と分析により指揮統制をサポート。 マルチモーダルAI ：複数のデータ（テキスト、画像など）を統計的に処理。 生成AI ：大規模データからテキスト生成や作戦シナリオ作成。
第三波AI	認知AI (Cognitive AI)	文脈を理解し、状況に適応し、自己学習を行いながら、リアルタイムで意思決定を行う。	複数のモダリティ（テキスト、画像、音声、センサーデータ）の統合による文脈理解。文脈の理解、自己学習、環境に適応する自律性を持つ。	JADC2 ：複数のドメインからの情報統合による柔軟な意思決定。 マルチモーダルAI ：複数モダリティの統合による文脈理解。 生成AI ：高度なテキスト生成による戦術支援。 自律型兵器システム ：状況に応じた自律的な攻撃・防御。

注. 軍用AI技術の進化の段階の区分は、DARPAの定義する「AIの3つの波」に基づく。

2. 軍用AI技術の最新動向

2.2 主要AI技術の概要

主要AI技術の概要		
主要AI技術	概要	軍事応用
機械学習（ML）と深層学習（DL）	大量のデータをもとに、 パターンを認識し、予測や分類 を行うAI技術。 深層学習 は、より多層のニューラルネットワークを用いる。	画像認識、音声認識、自然言語処理、無人航空機（UAV）の自律飛行、目標識別、サイバー防御システム等。
自然言語処理（NLP）と機械翻訳	テキストや音声データを理解し、自然言語を扱う技術 。機械翻訳は、異なる言語間での 正確な意味理解と翻訳 を行う。	情報収集、翻訳システム、音声対話システム、文書分類、音声指令システム、リアルタイム通訳。
コンピュータビジョンと画像認識技術	画像データを解析し、物体検出や分類、シーン理解 を行う技術。視覚情報から意味を抽出する。	偵察、監視、ドローンや自律車両の画像認識、衛星画像解析、戦場の状況把握、 目標追尾 。
生成AI（トランスフォーマー、LLM）	トランスフォーマーは自己注意機構を使い効率的にデータの依存関係を学習するアーキテクチャ 。一方、LLM（大規模言語モデル）は、主にトランスフォーマーアーキテクチャを使用するが、リカレントニューラルネットワーク（RNN）やLSTMなど、トランスフォーマー以外のアーキテクチャを用いる場合もある。	作戦シナリオの生成 、レポートの自動作成、 戦術的意思決定支援 、チャットボットによる指揮統制サポート。
マルチモーダルAI	複数のデータモダリティ（テキスト、画像、音声、センサーデータ）を統合して、より高度な文脈理解と意思決定 を行う技術。	JADC2（統合全領域指揮統制） 、戦場のリアルタイム情報分析、複数のデータモダリティの統合、戦術的状況認識。
最適化	複数の制約条件を考慮し、 目標達成のための最適な解 を導き出す技術。	任務計画立案、経路選択、兵站、資源配分、意思決定において、最適化を支援。
マルチエージェントシステム（MAS）／エージェントベースモデル（ABM）	MASは、複数のエージェントが相互作用し、協調して目標を達成 するシステム技術。 ABM は、MASの個々のエージェントの行動と相互作用の フレームワーク を提供。	無人ビークルの群制御 、分散センサネットワーク、指揮統制システムの最適化、サイバー戦の防御、シミュレーションと訓練。

2. 軍用AI技術の最新動向

2.2 主要AI技術の概要

機械学習のアルゴリズム体系

機械学習は、ラベル付きまたはラベルなしのデータからパターンを学び、予測や分類などのタスクを自動化する技術

分類	概要	アルゴリズム例	軍事応用
教師あり学習	ラベル付きデータを使用して訓練し、予測モデルを作成する手法。	線形回帰、サポートベクターマシン（SVM）、k近傍法（k-NN）、決定木（Decision Tree）、ランダムフォレスト（Random Forest）	ミサイルの標的識別、戦場の状況予測、兵站（ロジスティクス）の最適化など。
教師なし学習	ラベルなしデータからパターンや構造を見つけ出す手法。	k-meansクラスタリング、主成分分析（PCA）、自己組織化マップ（SOM）	敵の行動パターン分析、敵対的偵察の検出、無人システムの最適航路探索。
半教師あり学習	少量ラベル付きデータと大量ラベルなしデータを組み合わせて学習する手法。	セミスーパーバイスクラスタリング、Pseudo-labelling	偵察データの自動ラベル付け、画像データの識別精度向上、サイバー防御システムの強化。
強化学習	エージェントが環境との相互作用を通じて報酬を最大化する行動を学習する手法。	Q-learning、深層Qネットワーク（DQN）、SARSA	無人航空機（UAV）の自律航法、ロボットの自律行動学習、戦闘シミュレーションの最適化。
転移学習	既存のモデルで得た知識を、新たなタスクに適用する学習手法。	Fine-tuning、Domain Adaptation	既存の戦術データを使用した新たなミッションシナリオの生成、敵の新しい行動パターンへの適応。

2. 軍用AI技術の最新動向

2.2 主要AI技術の概要

深層学習のアルゴリズム体系

深層学習は、機械学習の一種で、より複雑なデータ処理とパターン認識を実現

分類	概要	アルゴリズム例	軍事応用
畳み込みニューラルネットワーク (CNN)	画像や音声、ビデオなどの多次元データの処理に特化したニューラルネットワーク。	LeNet、VGG、ResNet、Inception	偵察画像の解析、衛星画像による目標識別、戦場における画像認識、兵器の状態監視システム。
リカレントニューラルネットワーク (RNN)	時系列データやシーケンスデータを処理するために用いられるネットワーク。	LSTM (Long Short-Term Memory)、GRU (Gated Recurrent Unit)	音声認識、戦術データのリアルタイム解析、指揮統制システム (C2) の意思決定支援。
生成モデル	データの分布を学習し、新しいデータを生成することが可能なモデル	敵対的生成ネットワーク (GAN)、変分オートエンコーダ (VAE)	戦場のシミュレーションデータ生成、作戦シナリオの自動生成、敵の行動パターンの模倣。
強化深層学習	深層ニューラルネットワークと強化学習を組み合わせ、エージェントの意思決定能力を向上させる手法。	DDPG (Deep Deterministic Policy Gradient)、A3C (Asynchronous Advantage Actor-Critic)	自律兵器システムの動作最適化、ドローン編隊の最適な協調行動、戦術的意思決定の強化。

2. 軍用AI技術の最新動向

2.2 主要AI技術の概要

自然言語処理（NLP）のアルゴリズム体系

軍事分野においても、敵の通信分析や指揮統制の支援に役立つ技術

分類	概要	アルゴリズム例	軍事応用
形態素解析 (Tokenization)	テキストを 単語や文節に分割し 、分析可能な単位に変換する手法。	NLTKのWord Tokenizer、SpacyのTokenization	敵の通信文の解析、暗号解読のための前処理
品詞タグ付け (Part-of-Speech Tagging)	各単語に名詞、動詞、形容詞などの 品詞を割り当て、文法構造を解析 する技術。	HMM (Hidden Markov Model)、CRF (Conditional Random Fields)	軍事文書の自動分類、指揮統制システムでの命令解析
文法解析 (Parsing)	文の構造を解析し、文全体の構文や意味を理解 するために使用される技術。	CKYアルゴリズム、Dependency Parsing	敵の通信内容の分析、情報収集・偵察システムでの情報整理
意味解析 (Semantic Analysis)	単語や文脈の意味を理解し、 文の意味を解析 する技術。	Word2Vec、GloVe、 BERT	戦術レポートの自動生成、軍事通信の内容分析 商用翻訳システム (Google翻訳、DeepLなど)
テキスト生成 (Text Generation)	事前に学習したデータに基づいて、 自然な文章を生成 する技術。	GPT、Transformer	チャットボットを使った指揮統制支援、報告書の自動作成

2. 軍用AI技術の最新動向

2.2 主要AI技術の概要

機械翻訳のアルゴリズム体系

機械翻訳は、多国籍作戦や、敵の通信内容の分析において重要な技術

分類	概要	アルゴリズム例	軍事応用
ルールベース翻訳 (RBMT)	文法規則や辞書に基づいて翻訳を行う手法。	SYSTRAN	特定の軍事用語や命令文の翻訳
統計的機械翻訳 (SMT)	大量の翻訳例から統計的に最も適切な翻訳を選択する手法。	IBM Model、MOSES	多国籍作戦での通信翻訳、外国語での敵の通信分析
ニューラル機械翻訳 (NMT)	深層学習を用いて文全体をエンコードし、ターゲット言語の出力を生成する手法。	Seq2Seq、Transformer (DeepL, Google)、BERT	リアルタイムの通信翻訳、複数言語での情報収集
ハイブリッド翻訳 (HMT)	ルールベース翻訳と統計的翻訳またはニューラル翻訳を組み合わせ、翻訳精度を向上させる手法。	RBMT + NMTの組み合わせ	高精度な作戦指令や報告書の翻訳

2. 軍用AI技術の最新動向

2.2 主要AI技術の概要

コンピュータビジョンと画像認識技術のアルゴリズム体系（1 / 2）

画像や映像データを解析することで、状況認識や自律型システムにおける意思決定を支援。軍事分野では、特に偵察、監視、目標識別に重要。

技術	概要	アルゴリズム例	軍事応用
物体検出	画像内に存在する 物体を検出 し、その 位置を特定 する技術。	YOLO（You Only Look Once）、SSD、Faster R-CNN	ドローンや衛星画像からの敵車両や施設の検出、動く目標の追尾。
変化検出	時間の経過とともに 画像内の変化を検出 し、 動きや変化を特定 する技術。	差分画像法、時系列解析、背景差分法	敵の動きやインフラの変化、新たな脅威の配置などを追跡
シーン理解	さまざまなデータを統合してシーン全体の解釈を行い、 文脈を理解 する技術。	R-CNN、FCN、Semantic Segmentation	戦場や監視エリアでの高度な状況認識を提供し、指揮統制に役立つ。
画像前処理	画像の質を向上させるために ノイズ除去 や コントラスト調整 を行う技術。	Histogram Equalization、Laplacian Filter	低光環境での偵察や標的識別、夜間の監視。
画像拡張	画像を 回転 、 反転 、 色変更 などで修正し、AIモデルの 精度と頑健性を向上 させる技術。	回転、フリップ、クロップ、明るさ調整などの拡張手法	様々な角度や条件での目標認識を訓練し、識別精度を向上。

2. 軍用AI技術の最新動向

2.2 主要AI技術の概要

コンピュータビジョンと画像認識技術のアルゴリズム体系（2 / 2）

技術	概要	アルゴリズム例	軍事応用
部分的に隠された物体の処理	物体が他の要素に隠れている場合でも、正確に認識する技術。	Mask R-CNN、U-Net	偽装された敵の装備や車両を識別し、ターゲットを発見。
転移学習	既存モデルを再利用し、 新たなタスクに適応 させる技術。	Fine-tuning、Domain Adaptation	ラベル付きデータが少ない軍事タスクに効率的な訓練 を提供。
衛星画像と航空画像	衛星やドローンから得られた高解像度データを解析し、 情報を抽出 する技術。	DeepLab、ResNet、FCN	敵の施設やインフラを監視し、作戦計画のための情報収集に使用。
3Dモデル生成	複数の視点からの画像を基に、 3Dモデルを生成 する技術。	Structure from Motion (SfM)、Stereo Vision	敵の施設や地形の3Dマップを作成し、作戦計画に活用。

2. 軍用AI技術の最新動向

2.2 主要AI技術の概要

物体検出アルゴリズムとセグメンテーションアルゴリズムの体系（1 / 2）

- ・ **物体検出とセグメンテーション**：画像やビデオから意味のある情報を抽出。
- ・ **物体検出**：画像内の物体を検出し、その**位置（バウンディングボックス）を特定する技術**。
- ・ **セグメンテーション**：画像内の各ピクセルを対象物に割り当てることで、より詳細に識別する技術。

物体検出アルゴリズムの体系

アルゴリズム	概要	アルゴリズム例	軍事応用
Faster R-CNN	領域提案ネットワーク（RPN）を使用して 物体の候補領域を提案し、分類・検出する技術 。高精度。	Faster R-CNN	目標識別や偵察システムでの物体検出 。
YOLO（You Only Look Once）	画像全体を一度に処理して物体検出を行うリアルタイム技術 。速度重視。	YOLOv3、YOLOv4	ドローンや監視カメラによるリアルタイム監視や目標追尾 。
SSD（Single Shot Detector）	画像を 1回の推論で複数スケールの物体を検出する技術 。高速処理が可能。	SSD	偵察画像での 多様な目標サイズを同時に検出、監視システム 。

2. 軍用AI技術の最新動向

2.2 主要AI技術の概要

物体検出アルゴリズムとセグメンテーションアルゴリズムの体系（1 / 2）

セグメンテーションアルゴリズム体系

アルゴリズム	概要	アルゴリズム例	軍事応用
セマンティックセグメンテーション	画像内のすべてのピクセルに対してクラスを割り当てる技術。 同一クラスの複数の物体を区別しない。	FCN（Fully Convolutional Network）、U-Net	偵察画像や監視システムにおける地形や構造物の分類、戦場マップの生成。
インスタンスセグメンテーション	セマンティックセグメンテーションに加え、 同じクラス内の複数の物体を個別に認識する技術。	Mask R-CNN、PointRend	ドローンや航空画像での個別標的の識別、複数目標の正確な追尾。

軍事応用における特別な処理技術

処理技術	概要	軍事応用
リアルタイム処理	監視や偵察で即時対応が必要な場合に、高速に処理できる技術。	ドローンや監視システムでのリアルタイム物体検出や追尾。
耐環境性	雨や砂嵐、夜間などの悪条件下での正確な物体検出を行う技術。	低光環境や悪天候時の偵察や標的識別に使用。
多視点データ融合	ドローンや衛星など複数のセンサーからのデータを統合し、戦術的状況をリアルタイムで把握する技術。	複数のデータモダリティの統合による高度な戦術的状況認識と指揮統制。

2. 軍用AI技術の最新動向

2.2 主要AI技術の概要

生成AI：トランスフォーマー

1. トランスフォーマー：概要

- トランスフォーマーは、**深層学習モデル**の一種であり、主に自然言語処理（NLP）で革新をもたらしたが、**コンピュータビジョン**や**音声認識**、**強化学習**にも応用されている
- 2017年、Vaswaniらの論文「Attention is All You Need」で初めて提案され、従来の再帰構造（RNN）や畳み込み構造（CNN）が直面していた**シーケンス間の依存関係の問題**を解決

2. 主な革新点

- 自己注意機構**により、シーケンスを**並列処理**し、長いシーケンスや複雑な関係性を効率的に捉える

3. アーキテクチャ

- エンコーダーとデコーダー**の2つの主要部分で構成され、機械翻訳やテキスト要約などシーケンス間の変換を可能にする

4. 特徴

- 長距離依存関係のモデル化**：すべてのトークン間の直接接続により、従来のRNNやCNNの限界を超えて長いシーケンスを扱う
- 高速トレーニング**：並列処理によりトレーニング速度が大幅に向上し、GPTやBERTなどの大規模言語モデルの開発を支える

5. 軍事応用

- 情報抽出**、**感情分析**、**自動報告書作成**、国防システムの**自然言語インターフェース開発**に活用
- 物体検出**、**画像セグメンテーション**、**シーン理解**などのコンピュータビジョンタスクに適応

2. 軍用AI技術の最新動向

2.2 主要AI技術の概要

生成AI：トランスフォーマー・アーキテクチャ

1. 目的と意義

- 従来の逐次計算のRNNやCNNではなく、自己注意機構を活用してシーケンス全体を効率的に処理する新しいアーキテクチャ。
- 自己注意機構により、モデルがトークン（テキスト処理のために分割された基本単位）間の長距離依存関係を容易に学習でき、並列処理が可能になることで訓練速度も高速化。
- トランスフォーマーの多層化による抽象度の向上によって、単語レベルから文脈の理解、意味の統合、文法的な精密性、柔軟な応答、そして多様な情報の取り込みが可能となる。（本論文では記述されていないが、後続のBERTやGPTの論文で議論されている。）

2. アーキテクチャ構成

1. エンコーダー

- 6層の積層構造（実際の実装構造）、各層は自己注意機構と前向き伝播ネットワークから成る。
- 残差接続と層正規化で安定した学習が可能。

2. デコーダー

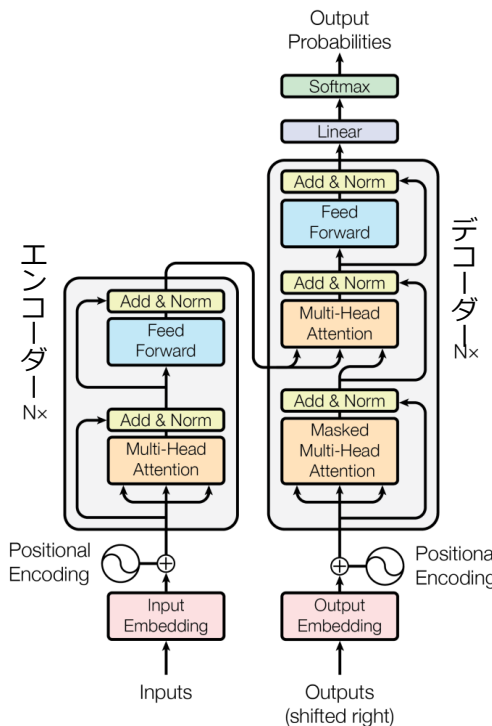
- 6層の積層構造、マスク付き自己注意とエンコーダー-デコーダー注意を追加。
- マスクで順次予測、エンコーダー情報で出力精度を強化。

3. マルチヘッド注意機構

- 異なる「ヘッド」によって多様な情報を並行して学習・処理。

4. 位置エンコーディング

- 自己注意機構はトークン間の位置関係を持たないため、サイン・コサイン関数でトークンの順序情報を付加し、シーケンスの位置を認識可能にする。



用語説明

- 自己注意機構**：入力シーケンス内で、異なる位置のトークン間の関連性を捉える仕組み。
例：「彼は彼女が公園にいるのを見た」における「彼と彼女の関係」
- マルチヘッド注意機構**：複数の独立した「ヘッド」で異なる注意機構を並行処理し、多面的な情報理解を促進する。
- 残差接続**：各層に元の入力を加え、学習の安定性を高める。
- 層正規化**：各層の出力を正規化し、安定した学習を実現する。
- 前向き伝播ネットワーク**：ReLU（非線形関数）活性化を使い、特徴変換を行う線形ネットワーク。
- 位置エンコーディング**：トークンの順序情報を保持するエンコーディングで、シーケンス内の相対位置をモデルに学習させる。

2. 軍用AI技術の最新動向

2.2 主要AI技術の概要

生成AI：大規模言語モデル（LLM）

1. 大規模言語モデル（LLM）の概要

- **トランスフォーマーアーキテクチャ**：自己注意機構を用い、長い文脈を効率的に処理。
- **事前学習とファインチューニング**：大量の非ラベルデータで事前学習し、特定タスクに応じたファインチューニングを実施。
- **自己教師付き学習**：ラベルなしデータから学習する自己教師付き学習により、広範な言語パターンを獲得。
- **スケーリング則（ベキ乗則）**：モデルのパラメータ数、データセットのサイズ、計算資源の増加に伴い、**性能がベキ乗的に向上**（パラメータ数が増えるほど性能が向上）。
- **軍事応用**：情報抽出、機械翻訳、感情分析、異常検出、質問応答、データ構造化など、幅広いNLPタスクに適用可能。

2. 大規模言語モデル（LLM）の限界

- **理解の欠如と論理的推論の弱さ**
パターンに基づく応答に強いが、因果関係や複雑な論理的推論には限界がある。
- **バイアスと倫理的課題**
訓練データに含まれるバイアスを引き継ぎ、差別的・不適切な応答を生成する可能性。
- **スケーラビリティの限界**
パラメータ数やデータ量を増やすことで性能が向上するが、**計算コストとエネルギーコストが急増し、効率が低下**。
- **長期依存関係の理解の難しさ**
長期にわたる文脈や一貫性のあるストーリーを保持する能力に限界がある。
- **知識の更新の難しさ**
訓練後の最新情報や新知識を動的に取得できず、古い情報に基づく誤りを含むことがある。
- **幻覚（Hallucination）**
実際のデータや事実に基づかない情報を生成する現象

3. 大規模言語モデル（LLM）の性能向上策

- **ファインチューニングとタスク特化型モデル**
特定タスクに最適化したデータでのファインチューニングにより、精度向上。
- **外部知識ベースとの統合**
外部の知識ベースやリアルタイムデータとの連携で、より正確な情報提供が可能。
- **マルチステップ推論（Chain-of-Thought）**
複雑な推論を段階的に行うことで、論理的な精度を高める手法。
- **強化学習（Reinforcement Learning）**
人間のフィードバックに基づく強化学習を活用して、推論精度を向上。
- **RAG（Retrieval-Augmented Generation）**
RAGは、生成タスクの前に情報検索（Retrieval）を行い、外部データから関連情報を取得して、その情報をもとに生成（Generation）を行う手法。
- **説明可能なAI（XAI）の導入**
推論プロセスの透明化により、モデルの信頼性を向上させ、誤りの発見や修正が容易になる。

2. 軍用AI技術の最新動向

2.2 主要AI技術の概要

生成AI：商用大規模言語モデル（LLM）

商用大規模言語モデル（LLM）の進化の例：GPTシリーズ

バージョン	学習データ	パラメーター数	学習期間	リリース日
GPT-1	ウェブページ	1億1700万	9日間	2018年（論文は2015年）
GPT-2	ウェブページ、書籍、Wikipedia、Common Crawl、ニュース記事	15億～17億	数週間から数ヶ月	2019年
GPT-3	GPT-2と同様だが、追加のデータソースや技術を使用	1750億	数ヶ月	2020年
GPT-4	より大規模なデータセットで学習し、コンテキストウィンドウが拡大、長時間の会話に対応	推定1.7兆	数ヶ月	2022/2023年

出典：Patrick T. Biltgen, AI for Defense and Intelligence, Tallaios, March 2024.

2. 軍用AI技術の最新動向

2.2 主要AI技術の概要

生成AI：LLMのスケーリング則（べき乗則）

- ・結論：LLMの性能は、モデルサイズ、データセットサイズ、計算量の「べき乗則」に従って向上する。特にモデルサイズが重要。数10億パラメータまではべき乗則に従う。

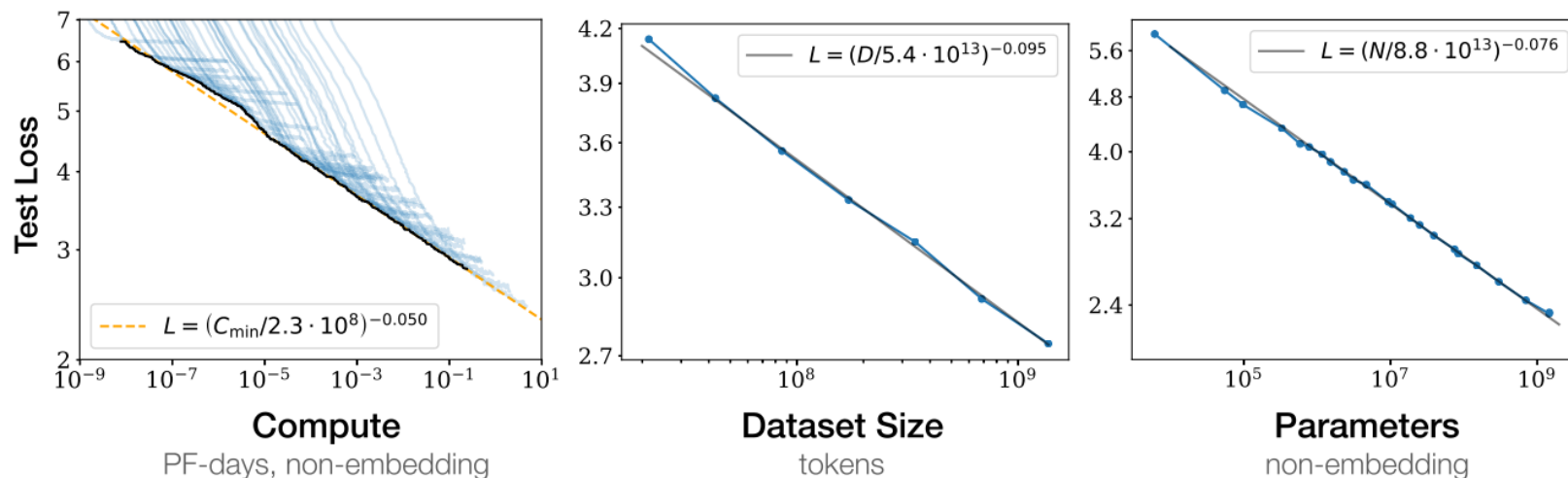


Figure 1 Language modeling performance improves smoothly as we increase the model size, dataset size, and amount of compute² used for training. For optimal performance all three factors must be scaled up in tandem. Empirical performance has a power-law relationship with each individual factor when not bottlenecked by the other two.

出典：Jared Kaplan et al., Scaling Laws for Neural Language Models, arXiv, 23 January 2020, p.3.

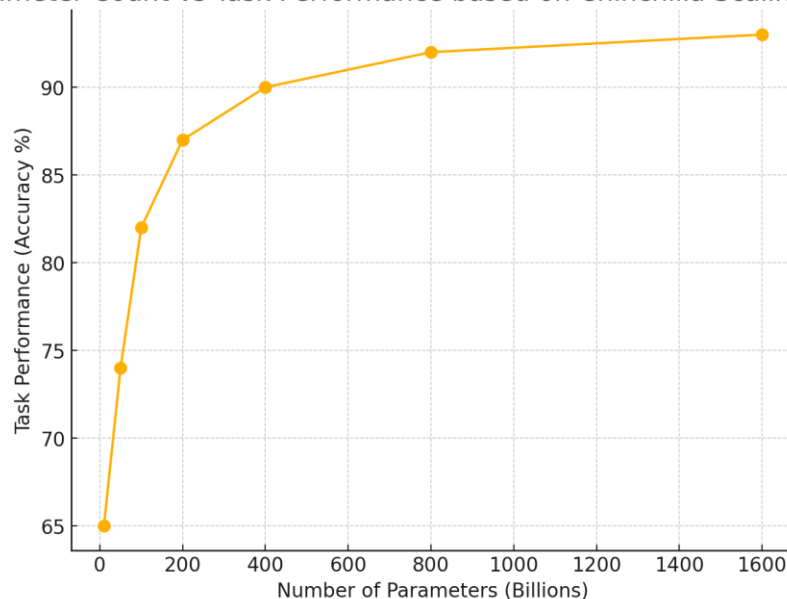
2. 軍用AI技術の最新動向

2.2 主要AI技術の概要

生成AI：LLMの性能向上の限界

LLM（大規模言語モデル）のパラメータ数と推定タスクの性能（タスク精度）を示す下図（Chinchillaスケーリング原則に基づいた仮説計算例）に基づくと、パラメータ数が数十億に達するにつれて性能が向上するが、ある程度の飽和点があることを示唆している。

Parameter Count vs Task Performance based on Chinchilla Scaling Insights



出典：Jared Kaplan, et al., Scaling Laws for Neural Language Models, arXiv, 23 January 2020.
Jordan Hoffmann, et al., Training Compute-Optimal Large Language Models, DeepMind, 2022.

2. 軍用AI技術の最新動向

2.2 主要AI技術の概要

生成AI：商用大規模言語モデル（LLM）

商用大規模言語モデル（LLM）の比較

Model	No. Parameters	Commercial Use	License	Attention Mechanism	Pre-training Token Length	VRAM or RAM Required	Open Source	Fine Tuneable
LLaMA	7 Billion	No	LLaMA License	MHA	1 Trillion	6GB VRAM	Yes	Yes
LLaMA	13 Billion	No	LLaMA License	MHA	1.5 Trillion	10GB VRAM	Yes	Yes
LLaMA	65 Billion	No	LLaMA License	MHA	1.5 Trillion	40GB VRAM	Yes	Yes
LLaMA-2	7 Billion	Yes	LLaMA-2 License	GQA	2 Trillion	6GB VRAM	Yes	Yes
LLaMA-2	13 Billion	Yes	LLaMA-2 License	GQA	2 Trillion	10GB VRAM	Yes	Yes
LLaMA-2	70 Billion	Yes	LLaMA-2 License	GQA	2 Trillion	40GB VRAM	Yes	Yes
Mistral	7 Billion	Yes	Apache 2.0	GQA	-	6GB VRAM	Yes	Yes
Falcon	7 Billion	Yes	Apache 2.0	MQA	1.5 Trillion	15GB RAM	Yes	Yes
Falcon	40 Billion	Yes	Apache 2.0	MQA	1 Trillion	40GB RAM	Yes	Yes
Falcon	180 Billion	Yes	Apache 2.0	MQA	3.5 Trillion	320GB RAM	Yes	Yes
GPT-3	175 Billion	Yes	OpenAI License	MHA	300 Billion	Via API	No	Limited
GPT-3.5 turbo	175 Billion	Yes	OpenAI License	Not disclosed	Not disclosed	Via API	No	Yes
GPT-4	Not disclosed	Yes	OpenAI License	Not disclosed	Not disclosed	Via API	No	No
Gemini	137 Billion	Yes	Gemini Pro License	MQA	Not disclosed	Via API	No	No
Claude	93 Billion	Yes	Claude Pro License	Unknown	Unknown	Via API	No	No
Claude 2	137 Billion	Yes	Claude Pro License	Unknown	Unknown	Via API	No	No
Claude 3	Unknown	Yes	Claude Pro License	Unknown	Via API	No	No	
Grok-1	314 Billion	Yes	Apache 2.0 for code and Grok-1 weights	48 attention heads for queries, 8 for keys/values	Unspecified	Unspecified	yes	No

出典：Killian Carolan et al., A Review of Multi-Modal Large Language and Vision Models, arXiv, 28 March, 2024, p.13.

2. 軍用AI技術の最新動向

2.2 主要AI技術の概要

生成AI：日本語ローカルLLM（参考）

モデル名	パラメータ数	概要	アーキテクチャ	マルチモーダル対応	商用利用可否	軍用セキュリティ評価	発表者・発表年月
ao-Karasu	72B	医療・金融などの専門分野に特化。高いセキュリティを持つモデル	Transformer（独自モデル）	非対応	可	高：セキュリティに強く、軍事情報解析に有用	Lightblue、2024年
CyberAgent LM3-22B	22B	商業向け大規模日本語モデル。高度なデータ処理に適している	Llamaベース	非対応	可	中：高パフォーマンスだが、軍事用途ではセキュリティ強化が必要	サイバーエージェント、2024年
Llama-3-ELYZA-JP	13B	軽量で日本語に最適化。汎用的な生成タスクに強い	Llama 3ベース	非対応	可	中：軽量であるが、セキュリティ強化が必要	ELYZA、2024年
Mistral-Nemo	7B-13B	軽量でエッジデバイス向け。モバイル環境での利用に最適	Mistralベース	非対応	要確認	低-中：軽量だが、セキュリティ保護が不足	Mistral、2023年

現状では、ao-Karasuが軍事用途や高セキュリティが求められる環境で最適。

2. 軍用AI技術の最新動向

2.2 主要AI技術の概要

マルチモーダルAI：定義・特徴・軍事応用例

1. マルチモーダルAIの定義

- ・ 異なるデータ形式（モダリティ）を統合して処理し、複雑な意思決定や推論を行う技術である。
- ・ テキスト、画像、動画、音声、センサーデータ、などが含まれる。
- ・ 各モダリティの関連性を理解することで、単一データでは得られない包括的な知見を提供する。

2. マルチモーダルAIの特徴

- ・ 複数モダリティの統合：異なるデータ形式を同時に扱い、より深い理解を実現する。
- ・ 協調的な推論：各モダリティが相互に補完し合い、精度の高い結果を得る。
- ・ データ融合：情報を統合し、相関性を解析することで総合的な判断を可能にする。
- ・ 直感的な学習：複数のモダリティを連携して学習し、より自然な理解を行う。

3. マルチモーダルAIの軍事応用例

- ・ 状況認識：ドローン映像、衛星画像、通信傍受、地上センサーのデータを統合し、戦場のリアルタイム状況認識を行う。
- ・ ターゲティングと目標追尾：光学センサー、赤外線センサー、レーダーを使用し、敵目標を正確に追尾・識別する。
- ・ 無人航空機（UAV）と自律システムの支援：AIが複数のセンサーから得たデータを解析し、最適な攻撃手段を選択する。
- ・ サイバー防御と電子戦：通信データ、システムログを解析し、リアルタイムの攻撃検出を行い、防御を強化する。

2. 軍用AI技術の最新動向

2.2 主要AI技術の概要

マルチモーダルAI：マルチモーダルLLM（MM-LLM）のアーキテクチャ

1. 全体構造

- **モダリティ別のエンコーダ**：モダリティ別にエンコーディングされたデータを共通の統合表現空間にマッピング。
- **トランスフォーマーモデル（LLM）による統合処理**。
- **テキストデータに変換する手法**：この手法により、LLMの自然言語理解を最大限に活用。

2. モダリティ別のエンコーダ

- **テキストエンコーダ**：BERTやGPTを使用し、文脈を考慮した特徴ベクトルを取得。
- **画像エンコーダ**：CNNやViTを使用し、画像の特徴マップを抽出。
- **音声エンコーダ**：WaveNetやWave2Vecを使用し、音声データの時間的特徴をエンコード。
- **動画エンコーダ**：3D-CNNやビデオトランスフォーマーで時系列データとして特徴を抽出。
- **センサーデータエンコーダ**：時系列データをLSTMやトランスフォーマーでエンコード。

3. 共通の統合表現空間

- 各モダリティの**特徴ベクトル**を**共通の次元**にマッピング。
- **クロス注意機構**を使用して、モダリティ間の相互作用を学習。

注.**クロス注意機構**：異なるモダリティ間の関連性を学習するための仕組み。一方のモダリティの情報を基にして、他方のモダリティから関連する情報を取り出す。

4. トランスフォーマーモデル（LLM）による統合処理

- **トランスフォーマー**を使用して、異なるモダリティの情報を統合。
- **文脈理解や複雑な推論・生成**を実行。

5. テキストデータに変換して処理する手法

- **画像キャプション生成**：画像を説明するキャプションを生成。
- **音声の文字起こし**：音声データをテキストに変換。
- **センサーデータのテキスト表現**：データの特徴を自然言語で表現。

2. 軍用AI技術の最新動向

2.2 主要AI技術の概要

マルチモーダルAI：極超音速ミサイル迎撃のためのレーダーデータとコンステレーション衛星画像とのマルチモーダルデータ統合の応用事例（仮説）（1 / 2）

1. 前提条件

- ・迎撃システム：SM-6ミサイルのアクティブシーカーによる終末誘導である。
- ・SPY-7レーダーデータ：最小更新周期1秒以下で、リアルタイムに目標の位置、速度、加速度、軌道情報を取得する。
- ・光学衛星画像：解像度0.3mで、5秒ごとの最小更新周期で広域監視を行う。
- ・SAR衛星画像：解像度0.5mで、5秒ごとの最小更新周期で全天候型の広域監視を行う。

2. マルチモーダルデータ統合

- ・光学およびSAR衛星画像の高解像度エンコーディング
 - ・ 光学衛星画像は解像度0.3mで、CNNやViTを用いて特徴を抽出する。
 - ・ SAR衛星画像は解像度0.5mで、CNNベースのエンコーダやDeepSAR手法（SAR画像の深層学習によるノイズ除去や物体検出、地形解析、変化検出などの課題の解決手法）を使用する。
- ・SPY-7レーダーデータのリアルタイムエンコーディング
 - ・ 1秒以下の更新周期で目標の位置、速度、加速度を取得し、LSTMやトランスフォーマーモデルを用いてエンコードする。
- ・共通の統合表現空間の構築
 - ・ 光学・SAR画像とSPY-7レーダーデータを統合表現空間に統合し、クロス注意機構で関連付ける。
- ・異なる更新周期のデータの並行処理
 - ・ SPY-7のレーダーデータを1秒以下のリアルタイムでストリーミング処理し、継続的に目標を追尾する。
 - ・ 光学・SAR衛星の画像データを5秒ごとにタイムスライスデータとして入力し、広域監視情報を補完する。
- ・目標の再識別と情報の補完
 - ・ 光学・SAR画像を活用して目標の形状や地形を識別し、SPY-7のデータを補完する。
- ・マルチモーダルLLMによる推論と意思決定支援
 - ・ 統合データから目標の位置や方向を把握し、迎撃計画の作成をサポートする。
 - ・ リアルタイムデータと高解像度衛星画像の情報を組み合わせ、SM-6の最終捕捉を支援する。

SPY-7レーダーと高解像度衛星画像の統合により、SM-6ミサイルの精確な終末誘導と極超音速ミサイルの迎撃が実現する。

2. 軍用AI技術の最新動向

2.2 主要AI技術の概要

マルチモーダルAI：極超音速ミサイル迎撃のためのレーダーデータとコンステレーション衛星画像とのマルチモーダルデータ統合の応用事例（仮説）（2 / 2）

SPY-7レーダーデータ

- ・位置情報（3次元情報）
- ・距離
- ・進行方向
- ・速度
- ・加速度
- ・軌道情報
- ・レーダー反射強度
- ・目標識別

高解像度光学衛星画像

- ・形状
- ・カラー情報
- ・視覚的識別情報
- ・周囲環境
- ・移動経路
- ・対象物の寸法

高解像度SAR衛星画像

- ・形状（凹凸）
- ・高度情報
- ・材質・反射特性
- ・位置情報（地形上）
- ・気象状況
- ・動きの検出
- ・周辺の地形・構造情報

マルチモーダルLLM

マルチモーダルデータ統合

- ・統合位置情報
- ・統合識別情報
- ・統合速度・加速度情報
- ・進路予測
- ・物体の形状と構造の統合
- ・地形・環境の統合情報
- ・統合追尾情報
- ・異常検出

「AI搭載衛星」の機能分担：高解像度エンコーディング

- ・ノイズ除去
- ・画像圧縮と重要部分（ROI）の抽出
- ・物体検出と分類
- ・変化検出
- ・データの暗号化とセキュリティ

マルチモーダルデータ統合により、各モダリティから得られるデータが相互に補完され、より精度の高い目標追尾や識別、環境把握が可能となる。

2. 軍用AI技術の最新動向

2.2 主要AI技術の概要

マルチモーダルAI：AI搭載衛星のエッジコンピューティング

1. 推奨製品: NVIDIA Jetson Xavier NX

- **高い処理能力**（21TOPS）を備え、CUDAおよびTensorRTによる最適化が可能
 - **CUDA**: GPU並列計算プラットフォーム。大規模データを迅速に処理。
 - **TensorRT**: 深層学習推論エンジン。推論速度と効率を最適化。
- **リアルタイム画像処理に対応**
- **光学およびSAR画像の効率的な高解像度エンコーディング**
- **省電力動作**: 衛星や遠隔地での使用に適した省エネルギー性能

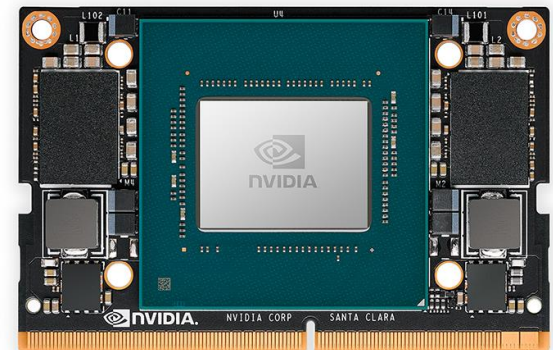
2. 主な特徴

- **GPUアクセラレーションによる高速処理**
- **大規模データセットでもリアルタイム処理が可能**
- **量子化やプルーニングによるモデルの圧縮・最適化**
 - **量子化**: モデルのサイズを縮小し、処理速度を向上。
 - **プルーニング**: 不要なパラメータを削減し、モデルを軽量化。

3. 適用範囲

- **コンステレーション衛星の高解像度エンコーディング**

NVIDIA Jetson Xavier NX



出典： <https://www.nvidia.com/ja-jp/autonomous-machines/embedded-systems/jetson-xavier-nx/>

2. 軍用AI技術の最新動向

2.2 主要AI技術の概要

マルチモーダルAI：軍用MM-LLM（1／2）

- ・ **軍用MM-LLMの要件**：オンプレミス／クローズ系、マルチモーダル対応、データメッシュ（DM）／データファブリック（DF）対応、LLM

モデル名	概要	マルチモーダル対応	DM/DF対応	LLM機能	保守性	主な用途
Lazarus AI	国防分野向けデータ統合・指揮統制をサポート。IL5/IL6対応予定。	高い（テキスト、画像、音声、センサー）	あり（ネイティブ対応）	組み込み済み	高い	JADC2、リアルタイムデータ分析、C2システム統合、意思決定支援
C3 AI Defense Solution	エンタープライズAIプラットフォーム、国防用途向けデータ統合と予測分析。マルチモーダルAI対応。IL5/IL6対応。	高い（テキスト、画像、音声、センサー）	あり（ネイティブ対応）	カスタム統合可能	高い	JADC2、脅威評価、サプライチェーン最適化、予測保全、意思決定支援
Palantir AIP	国防・安全保障分野向けのAIプラットフォーム。AI主導の意思決定支援に特化。	高い（テキスト、画像、音声、センサー）	あり（カスタム対応可能）	カスタム統合可能	高い	戦場でのリアルタイムデータ分析、C2統合、サイバー防御
IBM Watson X	商業・国防分野向けに使用され、セキュリティを重視したLLM。オンプレミス利用可能。	高い（テキスト、画像、音声、センサー）	あり（ネイティブ対応）	組み込み済み	高い	データ統合、C2システム支援、機密情報解析、予測分析

2. 軍用AI技術の最新動向

2.2 主要AI技術の概要

マルチモーダルAI：軍用MM-LLM（2／2）

モデル名	概要	マルチモーダル対応	DM/DF対応	LLM機能	保守性	主な用途
GPT-4 (Custom)	オープンAIの汎用LLM、カスタマイズにより国防用途向けに最適化可能。	カスタム対応可能	あり（カスタム対応可能）	組み込み済み	高い	テキスト解析、脅威検出、シミュレーション、レポート生成
Hugging Face Transformers	オープンソースのLLMライブラリ、国防用途にカスタマイズ可能。	高い（テキスト、画像、音声、センサー）	あり（カスタム対応可能）	組み込み済み	高い	物体検出、テキスト生成、C2システム支援、インテリジェンス分析
BERT (Military-specific)	GoogleのBERTを国防向けにファインチューニング。	低い	あり（カスタム対応可能）組み込み	組み込み済み	高い	自然言語処理、情報統合、テキスト解析、インテリジェンスレポート生成
Megatron-Turing (NVIDIA)	高性能LLM、国防データ解析やシミュレーションで使用される。	カスタム対応可能	あり（ネイティブ対応）	組み込み済み	高い	大規模データ解析、リアルタイム状況認識、意思決定支援
SitaWare Insight	NATO加盟国向けのC2システム統合プラットフォーム。現在マルチモーダル対応は未対応	カスタム対応可能	あり（カスタム対応可能）	カスタム統合可能	高い	C2システム統合、状況認識、意思決定支援

2. 軍用AI技術の最新動向

2.2 主要AI技術の概要

最適化：AIによる最適化問題の解決（1 / 2）

・最適化問題：任務計画立案、経路選択、兵站、資源配分、意思決定

区分	項目	概要	アルゴリズム例	軍事応用
任務計画立案	シナリオ分析	複数のシナリオに基づく最適な行動計画を策定する。AIは、リスクと成果を考慮したデータ駆動型の分析を行う。	強化学習	搜索救助や空爆などの作戦における最適シナリオの選定。
	最適資源配分	AIが人員、装備、ビークルの最適な配分を行い、コスト削減や任務成功率の向上を図る。	線形計画法、多目的最適	人道支援やISR資源の最適化。
	目標の優先順位付け	多くのデータソースをAIが統合し、優先順位を動的に評価する。	予測分析、ニューラルネットワーク	リアルタイムでの目標の優先度付けと攻撃計画の最適化。
	動的再計画立案	AIを用いてリアルタイムでの任務再計画立案を実施し、環境変化に対応する。	動的計画法	不確実な状況下での迅速な意思決定と戦略変更。
経路選択 (ルーティング)	経路探索	最適な経路を探索し、移動時間やリスクを最小限に抑える。	Dijkstra法、A*アルゴリズム	無人車両や無人航空機の最適経路選定。
	動的経路選択	現在の情報に基づき、経路をリアルタイムで動的に調整。	動的経路最適化	敵の動きや障害物に対する経路変更。
	群知能	群知能アルゴリズムを使い、自律的に資源を配分する。	蟻コロニー最適化、粒子群最適化	ドローンや無人ビークルの協調作業と任務遂行。

2. 軍用AI技術の最新動向

2.2 主要AI技術の概要

最適化：AIによる最適化問題の解決（2 / 2）

・最適化問題：任務計画立案、経路選択、兵站、資源配分、意思決定

区分	項目	概要	アルゴリズム例	軍事応用
兵站	在庫管理	AIが需要予測を行い、適切な在庫管理を実現する。	需要予測アルゴリズム	装備や補給物資の効率的な管理。
	輸送	AIを使用して兵站ネットワーク内の物資や装備の輸送を最適化する。	経路最適化アルゴリズム	戦場への迅速かつ効率的な物資・人員の輸送。
	予知整備	AIによって装備の故障を予測し、整備時期を最適化する。	予知整備アルゴリズム	ヘリコプターや戦車などの整備スケジュールの効率化。
資源配分	最適化アルゴリズム	AIが線形計画法や遺伝的アルゴリズムを用いて、資源を最適に配分する。	線形計画法、 遺伝的アルゴリズム	人員、装備、予算の最適配分により作戦の効率向上。
	多目的最適化	複数の目標を同時に最適化し、資源の効率的な配分を実現する。	多目的最適化、パレート最適化	作戦成功率、コスト、リスクをバランスさせた最適配分。
意思決定	意思決定支援システム	AIを活用し、大量のデータから意思決定に役立つインサイトを提供する。	ベイズネットワーク、強化学習、ファジー論理	戦術的な意思決定のサポートと作戦立案の改善。
	ゲーム理論	敵対的な状況や協力状況において最適な戦略を決定するために、AIがゲーム理論を活用する。	ナッシュ均衡、ゼロサムゲーム	サイバー戦において、攻撃者と防御者の駆け引きをモデル化し、最適な防御戦略を構築。攻撃パターンの予測や防御リソースの最適配分など。

2. 軍用AI技術の最新動向

2.2 主要AI技術の概要

最適化：コンステレーション衛星の最適軌道配置設計（1 / 2）

1. 前提条件

1. 目的と監視範囲

- **目的**：中国、ロシア、北朝鮮を策源地とする**極超音速ミサイル**や**変則軌道ミサイル**の監視、追尾、目標標定、迎撃支援を行うための低軌道衛星配置を最適化する。
- **搭載センサー**：解像度30cmの光学センサー、解像度50cmのSARセンサー
- **監視範囲**：これらの地域を重点的に監視し、**地球全体**をカバーすることが前提。

2. 軌道高度と傾斜角

- **軌道高度**：衛星は**高度500 km**に配置。
 - ・ 解像度を維持しつつ、観測精度と燃料効率のバランスを取る。
- **軌道傾斜角**：**60度～80度**の範囲で設定。
 - ・ 高緯度地域の監視を強化し、複数の軌道面でカバー範囲を最大化。

3. 衛星数と配置

- **衛星数**：100機
 - ・ 5つの軌道面に分割し、各軌道面に20機を均等に配置。
- **配置要件**：
 - ・ **同一高度**での衛星間の衝突を回避。
 - ・ 衛星の**位相シフト**を考慮した配置で、効率的な監視を実現。

2. 設計法の比較

項目	強化学習	遺伝的アルゴリズム
主な利点	動的な環境への適応能力、長期的な最適化能力	グローバルな探索能力、初期設計段階での効率的な解探索
主な欠点	計算コストが高い、収束に時間がかかる	局所最適解に陥るリスク、リアルタイム対応に不向き
適用範囲	リアルタイム運用、長期的なミッション計画	初期設計段階、複数目的の最適化
リアルタイム性	高い（リアルタイム運用向け）	低い（世代交代が必要）
収束速度	遅い（多くの試行が必要）	比較的早い（初期段階で解を見つけやすい）
適応性	環境の変動に対する柔軟な適応	設計の初期段階で柔軟に対応
適用シナリオ	衛星の故障や需要変動へのリアルタイム対応、長期運用	衛星の初期軌道設計、複数の目標を同時に最適化する場合
コスト	高い（学習に時間とリソースが必要）	中程度（探索効率が良いが、最適解に到達するまでのコストは変動）
総合評価	長期的な最適化や動的な環境への対応	初期設計段階で効率的な解探索および多目的最適化

2. 軍用AI技術の最新動向

2.2 主要AI技術の概要

最適化：コンステレーション衛星の最適軌道配置設計（2 / 2）

3. 遺伝的アルゴリズム

1. 遺伝的アルゴリズムとは

- ・**遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithm, GA）**とは、進化生物学に基づいた最適化手法であり、個体の世代間での進化をシミュレートすることで、最適解を探索する。
- ・主に組み合わせ最適化問題に使用される。
- ・**主要要素**:
 - ・ **個体**（解を表すベクトル）： $x = (H, \theta)$
 - ・ **適応度関数**（解の品質を評価）
 - ・ **選択、交叉、突然変異**（進化の操作）

2. 適応度関数と最適化基準

- ・単一の適応度関数は、個体の評価を行うための指標であり、問題の特性に応じて定義される。
- ・**コンステレーション衛星の最適化例**
 - ・ $f(x) = \frac{F(H, \theta)/E(H)}{R(H)}$
 - ・ $F(H, \theta)$ ：観測頻度、 H ：高度、 θ ：傾斜角
 - ・ $E(H)$ ：燃料効率
 - ・ $R(H)$ ：解像度の維持
- ・**最適化の目標**：監視精度、燃料効率、衝突回避のバランスの最大化。

3. 遺伝的アルゴリズムのプロセス

- (1) **初期集団の生成**：ランダムに個体を生成
- (2) **選択**：トーナメント選択などの手法で優れた個体を選ぶ

(3) **交叉**：2つの親個体から新しい子個体を生成

(4) **突然変異**：ランダムに個体を変異させ、多様性を維持

(5) **世代交代**：新しい集団に更新し、次世代に進む

4. コンステレーション衛星の衛星配置最適化

- ・**目的**：軌道高度と傾斜角の最適化による、衛星配置の効率化
- ・**課題**:
 - ・ 衛星同士の衝突回避
 - ・ 高度と解像度のバランス
 - ・ 観測頻度と燃料効率の最適化

5. アルゴリズムの実行例

・遺伝的アルゴリズムの実行結果

- ・ 高度：500 km
- ・ 傾斜角：60度～80度
- ・ 最適解の適応度： $f(x)=0.001141$
- ・ **3D表示**：各衛星の軌道面と位相シフトを考慮した結果を可視化。

6. 結論

- ・**遺伝的アルゴリズム**は、複雑な最適化問題に対して強力な手法であり、コンステレーション衛星の軌道配置の最適化にも適用可能。
- ・遺伝的アルゴリズムを使用することで、衛星の衝突回避と観測精度を維持しつつ、燃料効率の高い最適な配置を設計できる。
- ・将来的には、より多様な制約条件やリアルタイム対応を組み込むことで、さらに精度の高い配置が可能となる。

2. 軍用AI技術の最新動向

2.2 主要AI技術の概要

マルチエージェントシステム (MAS) : 概要・特徴・アルゴリズム例

1. 概要

- ・**マルチエージェントシステム (MAS)** : 複数の自律的エージェントが協力し、相互に作用して共通の目標を達成するシステム。各エージェントは環境や他のエージェントと情報交換しながら、自律的に判断・行動する。
- ・**エージェントベースモデリング (ABM)との関係** : ABMは、エージェントの行動をシミュレーションし、システム全体の振る舞いを解析する手法であり、MASはこれを実用化したシステムである。

2. 特徴

- ・**自律性** : 各エージェントが環境や状況に応じて自己判断で行動し、目標を独自に追求。
- ・**分散性** : システム全体は中央制御なしで動作し、単一障害点のリスクが軽減される。
- ・**協調性** : 複数のエージェントが協力し、情報を共有しながら全体の目標達成に向けて行動。
- ・**柔軟性と適応性** : 環境の変化や他のエージェントの行動に応じて、動作を柔軟に調整可能。
- ・**拡張性** : エージェントの追加や削除が容易で、システムのスケールアップや構造変更が可能。

3. アルゴリズム例

- ・**経路探索アルゴリズム** : 無人機や自律車両が最適経路を探索する。例 : A*アルゴリズム、Dijkstraアルゴリズム。
- ・**分散探索アルゴリズム** : 広範囲を効率的に探索する。エージェント間でエリアを分担し、協力して敵を発見。
- ・**群知能アルゴリズム** : 自然界の群行動を模倣。UAV群が協調して監視や攻撃を実施。
- ・**マルチエージェント強化学習アルゴリズム** : 環境からのフィードバックで最適行動を学習。戦闘中の戦術改善に応用。
- ・**交渉ベースのアルゴリズム** : 複数のエージェントが資源を最適配分し、タスクを調整。

4. 軍事応用

- ・**無人機 (UAV) や無人地上車両 (UGV) の群制御** : 複数の無人機が協調して偵察、監視、攻撃を行う。
- ・**分散型センサネットワーク** : 広域エリアに設置されたセンサが協力して情報を収集し、敵の動向を監視。
- ・**シミュレーションと訓練** : 複雑な戦闘シナリオや戦術訓練をシミュレートし、実際の戦闘に近い状況を再現。
- ・**指揮統制システム (C2) の最適化** : マルチエージェントシステムが情報の収集・分析を効率化し、迅速な意思決定を支援。
- ・**サイバー戦の防御** : エージェントがネットワーク内で異常を検知し、自律的にサイバー攻撃を防御。

まとめ : マルチエージェントシステムは、効率的な作戦遂行や自律的システムの構築に不可欠な技術であり、柔軟な対応力と協調性が軍事技術の進化に貢献する。

2. 軍用AI技術の最新動向

2.2 主要AI技術の概要

マルチエージェントシステム (MAS) : AI無人機による次期戦闘機の支援(1/2)

1. はじめに

・ヒューマンオンザループの概要:

- ・ AIが自律的に作戦を遂行し、人間（パイロット）が監督し必要に応じて介入するシステム。
- ・ **次期戦闘機（有人機）**のパイロットが最終的な攻撃や重要な判断を行う責任を保持。

・シナリオの概要:

- ・ 次期戦闘機（有人機）と**戦闘支援無人機（偵察、攻撃、電子戦）**が連携。
- ・ 各戦闘支援無人機は特定のタスクを遂行し、次期戦闘機と協力して任務を達成。
- ・ 最終的な攻撃判断は次期戦闘機のパイロットが行う。

3. 選定基準

・**自律性と協調動作のバランス:**戦闘支援無人機が自律的にタスクを遂行しつつ、次期戦闘機のパイロットの監督と連携が可能。

・**リアルタイムフィードバックとパイロット支援:**戦闘支援無人機がリアルタイムで収集したデータを次期戦闘機に提供し、最適な選択肢を提示。

・**異なるタスク間の連携:**偵察、攻撃、電子戦の異なるタスクが効果的に連携し、作戦目標を達成するための情報を次期戦闘機に集約。

2. 前提条件

・協調動作:

- ・ 偵察、攻撃、電子戦の戦闘支援無人機がそれぞれ特化したタスクを遂行し、次期戦闘機と連携して戦術的目標を達成。

・リアルタイム状況把握:

- ・ 戦闘支援無人機は戦場の状況をリアルタイムで収集し、次期戦闘機にフィードバック。
- ・ パイロットの意思決定を支援するデータを提供。

・次期戦闘機による最終決定:

- ・ 攻撃や重要な判断は次期戦闘機のパイロットが行い、AIは最適なタイミングや選択肢を提案。

・タスク分散:

- ・ 各戦闘支援無人機がそれぞれ偵察、攻撃、電子戦の特化タスクを担当。
- ・ 情報を統合して次期戦闘機に提供し、作戦の一部として機能。

・通信と自律性:

- ・ 通信途絶時にも戦闘支援無人機は自律的に行動を継続し、通信が回復した際に次期戦闘機と連携を再構築

・**通信途絶時の自律性と回復時の連携:**通信が断続的になる状況でも、戦闘支援無人機がタスクを継続し、通信が回復次第次期戦闘機と協力して動作を再開。

2. 軍用AI技術の最新動向

2.2 主要AI技術の概要

マルチエージェントシステム (MAS) : AI無人機による次期戦闘機の支援(2/2)

4. 最適なAIアルゴリズムの選定理由

1. マルチエージェント強化学習 (Multi-Agent Reinforcement Learning, MARL)

・概要: 各戦闘支援無人機が自律的に学習し、最適な行動を選択する強化学習手法。無人機同士が協力し、全体として目標を達成する。

・選定理由:

- ・ 偵察、攻撃、電子戦の戦闘支援無人機がそれぞれ異なるタスクを遂行しながら、協調して戦場の状況に適応。
- ・ 無人機同士が情報を共有し、次期戦闘機のパイロットに最適なデータを提供。
- ・ タスク分担が明確であり、無人機の自律性を高めながらも、有人機と効果的に連携できる。

2. 部分観測マルコフ決定過程 (POMDP: Partially Observable Markov Decision Process)

・概要: 戦闘支援無人機が不完全な情報の中で、最適な行動を選択するプロセス。限られたセンサー情報を基に意思決定を行う。

・選定理由:

- ・ 戦場では戦闘支援無人機が全ての情報を収集できるわけではないため、不確実な情報を基に最適な判断。
- ・ 各無人機が限られたセンサー情報に基づき、次期戦闘機のパイロットに重要なフィードバックを提供し、意思決定をサポート。

3. 意思決定支援システム (Decision Support System, DSS)

・概要: AIがリアルタイムで情報を解析し、複数の選択肢をパイロットに提供するシステム。最終判断はパイロットが行うが、AIが選択肢を評価・提示。

・選定理由:

- ・ 複雑な状況下で、戦闘支援無人機からのデータを統合し、次期戦闘機のパイロットに迅速かつ正確な意思決定支援を提供。
- ・ パイロットの負担を軽減し、最適な攻撃タイミングや戦術を提示。
- ・ 人間が最終判断を行うためのデータと選択肢を迅速に提供するシステムとして有効。

5. まとめ

・ハイブリッドAIアプローチ (MARL, POMDP, DSS) は、戦闘支援無人機が自律的に行動しつつ、次期戦闘機のパイロットが最終的な判断を行う体制 (ヒューマン・オン・ザ・ループ) を実現。

・各アルゴリズムは、それぞれの役割に応じた強みを活かし、柔軟で効率的な協調動作を実現する。

・最終的に、次期戦闘機のパイロットが重要な決定を下し、戦術的優位性を確保するためのAIサポートが強化される。

2. 軍用AI技術の最新動向

2.3 軍用AIにおける少量データの克服のための技術

少量データに基づくAIモデル訓練技術					
技術	概要	利点	欠点	評価	軍事応用
少数ショット学習	事前学習モデルに 少数のタスク固有データを追加学習 させ、特定タスクに適応	少量データで迅速に適応可能、コストと時間の削減	特定タスクごとの精度に制約があり、他技術との併用が推奨される	素早く特定タスクに適応 する場合に高評価	新兵器の識別、敵装備の認識（迅速な適応が必要な状況）
メタ学習	モデルが新しいタスクに柔軟に適応する能力 を学習する	多様な環境に対応でき、新しいタスクに少量データで効果的	初期トレーニングに大量データと計算資源が必要	複雑環境や予測困難な状況への適応性 が高い	未知の戦術や戦場の変化に対応、動的な環境での活用
データ拡張	既存データを変換（回転、拡大、ノイズ付加、色変更など） し多様なバリエーションを生成してデータ不足を補う	簡便で高速な実行が可能で、既存データを有効活用できる	オリジナルデータの変形に依存し、 新しいパターン生成に限界 あり	既存データ範囲内の バリエーション増加 に有効	兵器認識や戦場環境の多様なバリエーションに対応
合成データ生成	GANやVAE を用いてゼロから新しいデータを生成し、データの多様性を向上	現実データ取得が難しい状況 で新しいデータを生成可能	生成データの信頼性 が生成手法に依存し、実運用での検証が必要	新シナリオ や仮想敵シミュレーションに有用	戦闘シミュレーション、新たな敵の行動パターン作成
転移学習	他タスクで 学習済みモデルの知識 を新タスクに少量データで適用	大規模データを再収集せずに低コストでタスク適応が可能	元データと新タスクの違いが大きいと精度が低下する	類似タスクへの迅速な適応 が可能	民間データを基にした軍事特化の識別、敵兵や装備の認識
ドメイン適応	ソースとターゲットデータの分布差 を少量データで調整し、特定環境でのモデル精度を向上	特定環境において少量データで効果的に適応	ソースデータとターゲット環境の差異が大きすぎると効果が薄れる	特定領域や異なる環境への適応 が可能	軍事シミュレーションデータの現実環境への適応、特定戦場の対応 ⁴¹

2. 軍用AI技術の最新動向

2.3 軍用AIにおける少量データの克服のための技術

LLMを用いた合成データ生成技術

1. 概要

- ・目的：LLMを用いた合成データ生成の技術、評価手法、応用可能性を論じる。
- ・価値：低リソース環境でのAIモデル訓練が可能であり、特に軍事や医療分野でのデータ不足を解消。

2. 技術的要点

- ・プロンプトエンジニアリング：特定の軍事シナリオ（例：戦闘状況）の精密な再現が可能。
- ・パラメータ効率型適応：
 - ・ Prefix Tuning：モデル全体を再学習せずに特定タスクに適応。
 - ・ LoRA (Low-Rank Adaptation)：少量の追加パラメータでモデル調整が可能。
- ・評価手法：Self-BLEU：生成データの多様性を評価する指標。

3. 軍事応用例

- ・敵対的シナリオの再現：未知の戦術や地形での戦闘状況を模擬。
- ・インテリジェンス分析訓練：多様な状況を生成し、敵の動向予測や異常検知に役立てる。
- ・機密データ保護：プライバシーを保ちながらモデル訓練が可能。

4. 幻覚検出技術

- ・課題：「幻覚」= 生成データが現実から乖離するリスク。
- ・対策：
 - ・ 検出アルゴリズム：データの正確性を評価。
 - ・ 複数モデルトレーニング：モデル間の比較でリスク軽減。
 - ・ 評価指標改善：Self-BLEUやヒューマン評価を組み合わせた評価。

5. 結論

- ・LLMの有効性：少量データで高精度な合成データ生成が可能で、軍事・医療分野での応用に有望。
- ・技術的優位：プロンプトエンジニアリングや効率的な微調整手法により、柔軟かつ精密なデータ生成が実現。
- ・幻覚リスク対応：検出アルゴリズムやSelf-BLEUで生成データの正確性を担保。

2. 軍用AI技術の最新動向

2.4 AI安全性

AIおよび生成AIの脅威と防御策（1 / 2）

大分類	脅威の小分類	脅威の概要	防御策
AIモデル攻撃	敵対的攻撃	AIモデルに対して 微小な変更 を加え、誤った出力を誘発する攻撃。主に 画像認識 や 自然言語処理 のモデルがターゲット。	敵対的トレーニング、異常検知システムの導入
	モデル逆推定攻撃	モデルの出力から元の入力データを推測 し、個人情報や機密データを抽出する攻撃。	差分プライバシー、フェデレーテッドラーニングの導入
	モデル窃取	公開API を利用してモデルの内部構造やパラメータを模倣・盗む行為。	APIリクエスト制限、モデルにウォーターマークを埋め込む
データ攻撃	データポイズニング攻撃	悪意のあるデータ を学習データに混入させ、AIモデルが誤った学習を行うように誘導する攻撃。	データクレンジング、信頼できるデータソースの利用
	メンバーシップ推論攻撃	モデルの出力から 、特定のデータが訓練データに含まれているかどうかを推測する攻撃。	差分プライバシー、過学習の防止
	データバイアス	偏ったデータセット を用いることで、AIが特定のグループに対して不公正な判断を下すリスク。	多様なデータの収集、バイアス検出ツールの導入、データ正規化手法の適用
アルゴリズム攻撃	アルゴリズムバイアス	アルゴリズムの設計や最適化プロセスでバイアス が導入され、不公正な結果が生じるリスク。	公平性を考慮したアルゴリズム設計、説明可能なAI（XAI）の導入、アルゴリズム監査

2. 軍用AI技術の最新動向

2.4 AI安全性

AIおよび生成AIの脅威と防御策（2 / 2）

大分類	脅威の小分類	脅威の概要	防御策
生成AI攻撃	プロンプトインジェクション攻撃	悪意のあるプロンプトを入力し、生成AIの出力を意図的に操作する攻撃。	入力検証とフィルタリング、ホワイトリストによる応答制御
	フィッシングとソーシャルエンジニアリング	生成AIを利用して巧妙なフィッシングや詐欺を実行する攻撃。	フィッシング検出AIの導入、エンドユーザーの教育強化
	ディープフェイク攻撃	AIを使って偽の映像や音声を生成し、詐欺、誤情報の拡散、フェイクニュースを作成する攻撃。	ディープフェイク検出ツール、マルチファクタ認証、コンテンツ検証技術
システム攻撃	システム侵害	AIモデルを動作させるシステムの脆弱性を悪用して、不正アクセスや不正操作を行う攻撃。	多層防御（ファイアウォール、アクセス制御、暗号化）、ゼロトラストアーキテクチャの導入
	バックドア攻撃	モデルのトレーニング中にバックドアを仕込み、特定条件下で意図的な出力を生成させる攻撃。	トレーニングデータの厳格な管理、バックドア検出ツールの使用
AIの利用と制御	AIへの過度な依存	ユーザーがAIシステムに過度に依存し、自らの判断力を損なう。特に誤作動時にリスクが増大。	説明可能なAI（XAI）の導入、人間の意思決定介入
	過剰な自律性	AIシステムが過度に自律的に動作し、人間の意図を超えて制御不能な状況を引き起こすリスク。	AIの自律性制限、フェイルセーフ設計の導入

2. 軍用AI技術の最新動向

2.4 AI安全性

AIシステムに特化した脅威情報のフレームワーク：MITREのATLASマトリックス

AIシステム攻撃のキルチェーン

●**偵察 (Reconnaissance)**：AIモデルやその環境に関する情報を収集する過程で、攻撃計画の最初のステップです。

●**リソース開発 (Resource Development)**：攻撃に必要なリソース（汚染されたデータセットや悪意のあるモデルなど）を準備・開発すること。

●初期アクセス (Initial Access) : AIモデルやそのインフラへのアクセスを得るための技術。

- 実行 (Execution)**：敵対的な入力やプロンプトインジェクション攻撃を使ってAIモデルの実行を操作する方法。

- 持続性 (Persistence)**：システム、モデル、またはデータへのアクセスを維持するための手法。

- 防御回避 (Defense Evasion) :** AIシステムに対するセキュリティ対策を回避する戦略。

- 発見 (Discovery)**：攻撃対象のAIシステムに関する情報を探る方法。

- 収集 (Collection)**：訓練データや学習されたパラメータなど、AIモデルから有価値な情報を収集すること。

- 漏洩 (Exfiltration)**：攻撃対象システムから有価値なデータやAIモデルを盗むこと。

●**影響 (Impact)**：AIシステムの動作やパフォーマンスを変更し、誤分類やモデルの破損などの危険な結果を引き起こすこと。



出典 : https://mitre-atlas.github.io/atlas-navigator/#layerURL=https://raw.githubusercontent.com/mitre-atlas/atlas-navigator-data/main/dist/default-navigator-layers/atlas_layer_matrix.json

2. 軍用AI技術の最新動向

2.4 AI安全性

責任あるAI原則：DoDとNATOの比較

項目	DoD	NATO	共通点	相違点
戦略 の 目的	<ul style="list-style-type: none"> - 安全性と信頼性の確保: AIシステムの誤動作を防ぎ、戦場での信頼性を高める。 - 倫理基準の遵守: 国際法・国内法に従い、AIを開発・運用。 - 説明可能性: AIがどのように意思決定するかを説明可能にする。 	<ul style="list-style-type: none"> - 相互運用性の確保: 同盟国間でAIシステムの運用基準を統一。 - AI技術の迅速な採用を支援し、防衛能力を向上。 - 倫理的基準と法的準拠の保証: AI技術が国際法に準拠するように重視。 	<ul style="list-style-type: none"> - 両者は、倫理基準や法的基準に従ったAI技術の使用を目指している。 - 信頼性を重視し、システムの安定した運用を求めている。 	<ul style="list-style-type: none"> - DoDは安全性に焦点を当て、米国防の観点からAIシステムの防御を重視。 - NATOは国際協力と相互運用性を強調。
原則	<ol style="list-style-type: none"> 1. 説明可能性 (Explainability): AIの意思決定プロセスを理解可能にする。 2. 公平性 (Fairness): 偏りなく公平に機能すること。 3. 信頼性 (Reliability): 安定した動作を保証。 4. 透明性 (Transparency): 監査可能で透明なシステムを確立。 5. 安全性 (Security): 外部からの脅威に耐える。 6. 人間の関与 (Human Oversight): 最終的な意思決定は人間が行う。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 法的準拠 (Lawfulness): 国際法と国内法に従ってAIを開発・運用。 2. 説明責任 (Responsibility and Accountability): 明確な人間の責任を持つ。 3. 説明可能性と追跡可能性 (Explainability and Traceability): 透明性と追跡可能性を確保。 4. 信頼性 (Reliability): 安全性と堅牢性を保証。 5. 制御可能性 (Governability): システムの不具合を検出し、人間が制御できる。 6. バイアス軽減 (Bias Mitigation): 不当なバイアスを最小限に抑える。 	<ul style="list-style-type: none"> - 説明可能性と透明性が強調され、両者ともAIの意思決定プロセスを理解可能で透明にすることを重視している。 - 信頼性を保証し、システムが安定して動作することを重視している。 - 両者ともに、AIの自律性を監視・制御するためのヒューマン・オン・ザ・ループ (Human on the Loop) アプローチを採用。これにより、AIが誤動作した場合でも、人間が介入可能な仕組みを確保している。 	<ul style="list-style-type: none"> - DoDは安全性 (Security)に強く焦点を当て、外部からの脅威に対する防御を重視。 - NATOは法的準拠に重点を置き、AIが国際法や人道法に従うことを強調。

2. 軍用AI技術の最新動向

2.4 AI安全性

責任あるAI使用：REAIMサミット

REAIMサミット	Actionの概要	主要国の姿勢	課題・フォーカス
第1回サミット (2023年2月15-16日、オランダ) 参加国数：約60カ国 署名国数：約60カ国	「Call to Action」：責任あるAIの軍事利用を促進するための基本指針を策定。 1. 責任あるAIの使用促進 2. 人間の関与 3. データ管理 4. 国際協力 5. リスク評価	米国： 責任ある軍事AI使用を強く推進 英国： 国際法に基づくAI運用を支持 カナダ： 人権と倫理に基づくAI使用を強調 中国： 参加したが署名は慎重 ロシア： 参加せず イラン： 署名せず、独自の技術開発を重視 オランダ： サミット主催国としてリーダーシップ 韓国： 署名し次回サミットを共催 日本： 責任あるAI使用を推進 豪州： 倫理的AI使用を支持 イスラエル： 技術リーダーとして積極的に署名 ウクライナ： 戦時下でAI技術の活用を支持	- 倫理的AI運用の枠組み作り - 国際法遵守 - AIによる決定への人間の関与の必要性
第2回サミット (2024年9月9-10日、韓国) 参加国数：90カ国 署名国数：61カ国	「Blueprint for Action」：具体的な行動指針を策定し、AIのリスク評価や人間の管理下での使用を強調。 1. AI技術のライフサイクル全体での責任ある使用 2. WMD拡散防止 3. リスク評価と人間の関与 4. 国際平和と安全保障への影響 5. 将来的なガバナンス	米国： 引き続き積極的に推進 英国： 責任あるAI使用を支持し、積極的に署名 カナダ： 責任あるAIの使用を強調 中国： 代表団派遣も署名見送り ロシア： 参加せず イラン： 署名せず、独自の技術を優先 オランダ： サミット共催国として主導的役割 韓国： サミット共催し国際AIガバナンス主導 日本： 国際協力と責任あるAI使用を推進 豪州： AI技術の軍事利用における倫理を支持 イスラエル： 責任あるAI使用を強調し、署名 ウクライナ： 戦争下でAI技術を積極的に活用	- 核兵器やWMDに関するAIのリスク - AIの軍事利用全体の倫理的枠組み - 人間による意思決定への関与

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.0 調査対象文献

3.1 調査概要

3.2 調査の位置付け

3.3 国防AIの定義と技術的背景

3.4 調査結果：「国防AIについての考え方と影響要因」

3.5 調査結果：「国防AIの開発」

3.6 調査結果：「国防AIの組織」

3.7 調査結果：「国防AIの資金調達」(省略)

3.8 調査結果：「国防AIのための運用」

3.9 調査結果：「国防AIのための訓練」(省略)

3.10 調査結果：「調査結果の解釈」(省略)

3.11 調査結果：「結論」

3.12 調査結果：「米国の国防AI」

3.13 調査結果：「中国の国防AI」

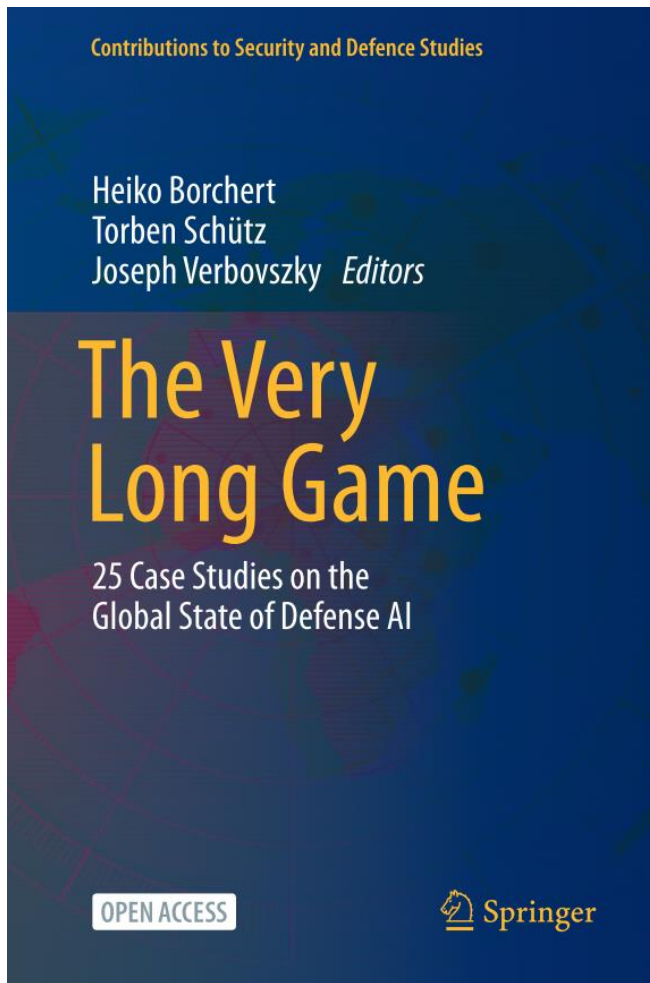
3.14 調査結果：「ロシアの国防AI」

3.15 調査結果：「ウクライナの国防AI」

3.16 調査結果：「イスラエルの国防AI」

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.0 調査対象文献



■ 書名：『The Very Long Game : 25 Case Studies on the Global State of Defense AI』

■ 編集者:Heiko Borchert, Torben Schütz, Joseph Verbovszky

■ 出版年：2024 年7月19日

■ 出版社：Springer

■ 頁数：631頁

■ 概要

本書は、各国の軍が現状でAI技術をどのように利用・開発しているかを**共通の分析フレームワーク**により多角的に分析し、**国別事例(25か国)**を通じて**国防AIの実態**を示している。

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.1 調査概要

■ 調査の目的

- ・ 25カ国における国防AIの採用状況を包括的・比較的に分析する
- ・ 国防分野におけるAI技術の現在の適用方法を明らかにする
- ・ 国防AIが軍事力強化にどのように貢献するかを探る
- ・ 各国の国防AIの開発、組織化、資金調達、運用状況を評価する

■ 調査機関

- ・ **実施機関**：Helmut Schmidt大学（ドイツ・ハンブルク）Defense AI Observatory
- ・ **調査主導者**：Heiko Borchert
- ・ 複数の各国専門家が共同で寄稿

■ 調査方法

- ・ 25カ国のケーススタディに基づく分析
- ・ 公開情報と専門家インタビューを活用
- ・ DOTLMPFI（Doctrine, Organization, Training, Material, Leadership/Education, Personnel, Facilities, Interoperability）の枠組みを使用
- ・ 6つの側面から国防AIを評価（思考、開発、組織、資金、運用、訓練）

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.1 調査概要

■ 調査対象国（25カ国、調査順）

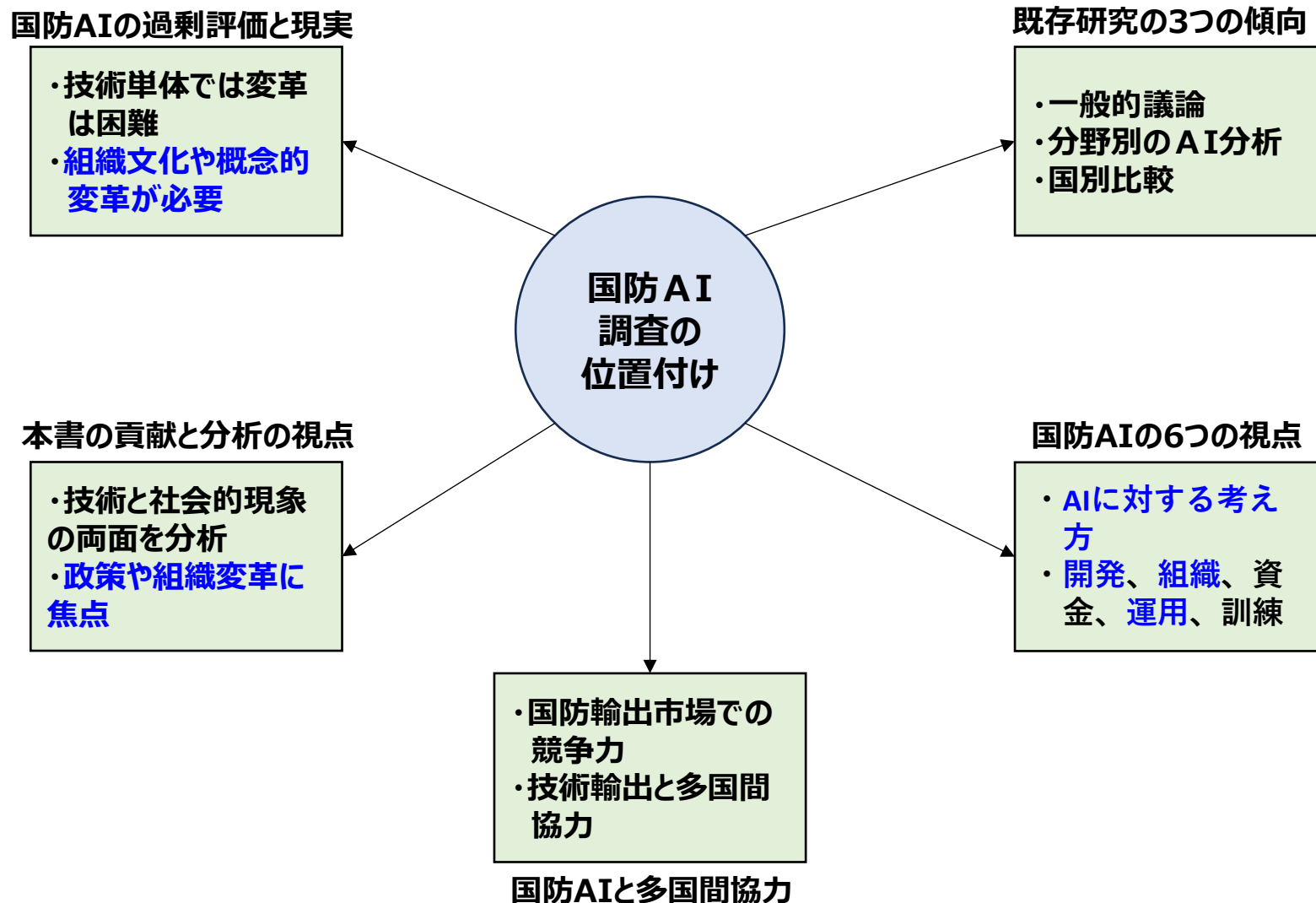
1. **USA: 米国**
2. CAN: カナダ
3. GBR: イギリス
4. SWE: スウェーデン
5. FIN: フィンランド
6. EST: エストニア
7. DNK: デンマーク
8. DEU: ドイツ
9. NLD: オランダ
10. FRA: フランス
11. ESP: スペイン
12. ITA: イタリア
13. GRE: ギリシャ
14. TUR: トルコ
15. **RUS: ロシア**
16. **UKR: ウクライナ**
17. **ISR: イスラエル**
18. IRN: イラン

■ 調査対象国（25カ国、調査順）

19. IND: インド
20. **CHN: 中国**
21. JPN: 日本
22. KOR: 韓国
23. TWN: 台湾
24. SGP: シンガポール
25. AUS: オーストラリア

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.2 調査の位置付け



3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.3 国防AIの定義と技術的背景

国防AIの定義と技術的手法

国防AIの定義

- **統一された定義なし**
- 一般的な定義：「人間の知能を必要とするタスクを機械が遂行できる能力」(米国)
- 人間の制御 vs. 機械の自律性

国防AIの主要な技術的手法

- 教師なし学習：データ解析、異常検出
- 教師あり学習：画像認識、信号分類
- 強化学習：戦略的意思決定、リスク管理
- **協調とエマージェンス（注）：資源配分、センサー最適化（自己学習は協調とエマージェンスを支える重要なメカニズム）**

注. **協調（Coordination）**：複数のAIやエージェントが相互に連携して動作を調整し、**効率的に共通目標を達成**するためのメカニズム。**エマージェンス（Emergence）**：個々のAIエージェントの相互作用から、**全体として新たなパターンや解決策が生まれる現象**。

AIの発展段階とその課題

AIの3つの発展段階（DARPA）

- 第一波AI：手作りルール（ルールベースシステム）
- 第二波AI：統計的学習（パターン認識）
- **第三波AI：文脈的推論。自己学習能力を持つ。**

データ駆動型AIから認知AIへの移行

- **データ駆動型AIの限界――> 第三波AIの必要性**
- **不確実な環境下での自律性**

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.3 国防AIの定義と技術的背景

三つの波のAIの戦争の原則への貢献

項目		第一波AI	第二波AI	第三波AI
コアアイデア		手作りの知識	相関学習	文脈的推論
主な目標		効率性	効率性と効果	エマージェンス
選択された戦争の原則への貢献 (12原則の中の8原則)	集中	データ分析による間接的な貢献	データ分析による直接的な貢献	自己学習による直接的な貢献
	目標の定義	技術的な目標を設定し、事前にプログラム	エラー機能やチュートリアルガイドラインで定義された技術的目標	戦術目標を直接扱い、システムが自動的にサブ目標を生成する可能性
	戦力の経済性	貢献なし	データ分析とオペレーションリサーチによって直接貢献	自己学習された戦術による直接的な貢献
	柔軟性	貢献なし	データ分析によって間接的に貢献	自己組織化とエマージェントな調整によって直接貢献
	主導権	貢献なし	貢献なし	自己学習された戦術による直接貢献
	セキュリティ	貢献なし	貢献なし	電波管制下で動作する意思決定ポリシーによる直接貢献
	奇襲	貢献なし	データ分析、実施方針（COA）の分析、オペレーションリサーチによって間接的に貢献	自己学習された戦術とエマージェントな調整による直接貢献
	持続性	データ分析による直接貢献	データ分析による直接貢献	リアルタイムの防衛メタバースでの計画支援によって直接貢献

出典：Heiko Borchart's Overview with NATO principles of war based on NATO 2022: 74-76.

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.4 調査結果：「国防AIについての考え方と影響要因」

国防AIに対する基本的な考え方

- ・各国は国防AIの具体的な目標を明確にせず、**データ分析や意思決定の加速**といった一般的な利点に言及
- ・**現在の業務の改善・最適化**に焦点を置き、新しい任務への応用は少ない

戦略的動機

- ・ **脅威ベースのアプローチ**：主要な敵対国に対抗するためにAIを開発（**米国、中国、ロシア、インド**など）
- ・ **FOMO（機会損失への恐れ）**：AIを採用しないことで競争力を失うことを懸念（**フランス、イタリア、デンマーク**など）
- ・ **能力増幅器としてのAI**：AIを軍事力強化の手段として模索（**大多数の国**）

誰が誰に影響を与えるか

- ・ **米国**：同盟国に強い影響力を持つ（アジア太平洋、ヨーロッパ）
- ・ **競争国**：中国やロシアは互いのAI開発動向を注視し、脅威ベースでAIを導入
- ・ **地域対立**：ギリシャとトルコ、ウクライナとロシアなど、地域の競争がAI戦略に影響

人間中心か技術中心かの理解

- ・ **人間中心**：AIは人間の意思決定を補完するもの（多くの国が採用）
- ・ **技術中心**：AIの完全自律性を目指す国も存在（トルコ、ウクライナ）
- ・ **将来の変化**：デンマークやエストニアは今後、技術中心にシフトする可能性

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.5 調査結果：「国防AIの開発」

国防AI開発の焦点

1. 国防AI開発のアプローチ

- ・ **大多数の国**は**データ中心の第二波AI**を採用しており、現状維持やデータ分析に焦点を当てている
- ・ **米国**は**第三波AI（エマージェントAI）**の利点を探求している唯一の国
- ・ **一部の国**（エストニア、イラン、スペインなど）は、AI開発の考え方が**慎重で柔軟（アグノスティック）**

2. 各国の国防AI開発アプローチ

データ中心	慎重で柔軟	エマージェントAI
AUS, CHN, DEU, DNK, FIN, FRA, GBR, GRE, IND, ISR, ITA, JPN, KOR, NLD, RUS, SGP, SWE, TWN, UKR, USA	CAN, EST, ESP, IRN, TUR	USA

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.5 調査結果：「国防AIの開発」

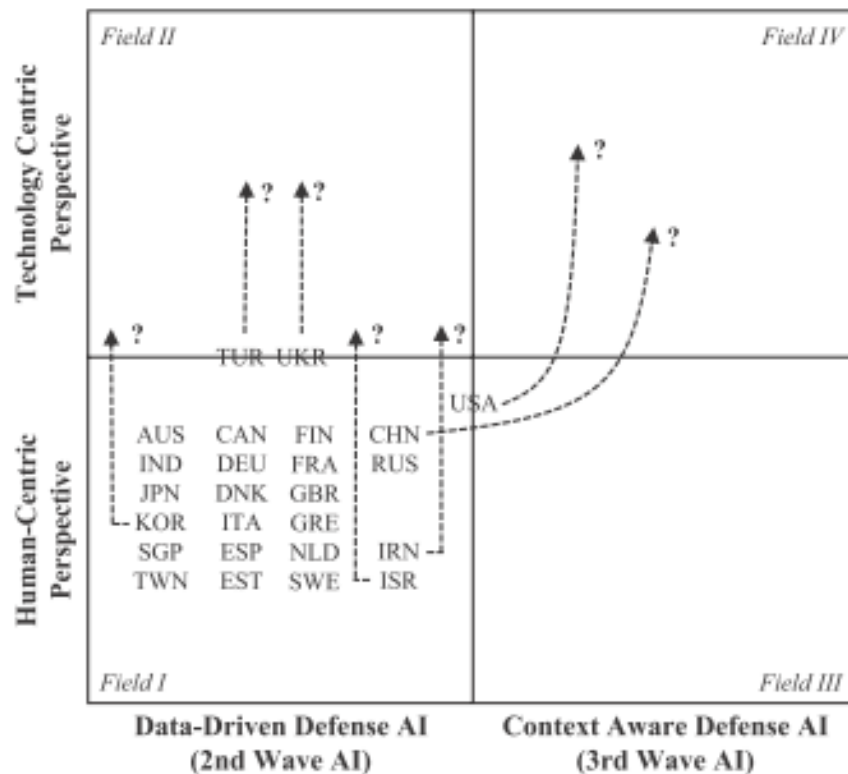
国防AI開発アプローチの比較

1. 国防AI開発アプローチの全体像

- ・データ中心 vs エマージェンス、および技術中心 vs 人間中心のアプローチを組み合わせた2x2マトリックス（図参照）
- ・現時点では、すべての国がデータ中心かつ人間中心のパラダイム内で運用
- ・ただし、将来的には「ブレイクアウト」への移行が期待されている

2. 各国のエマージェンスAIへの移行可能性

- ・米国：「Replicator Initiative」が示すように、エマージェンス（第三波AI）への移行候補。水平・分散型の指揮統制（C2）が期待される
- ・中国：米国の動向に追従する可能性が高い。現在、大規模言語モデル（LLM）を使った群制御C2の実験段階
- ・ウクライナ：AI搭載の無人システム部門を設立し、スターリンクを活用した通信によって、迅速な意思決定と攻撃能力を強化
- ・イスラエル：AI搭載の無人航空機とアイアン・ドーム防衛システムを使用し、敵ミサイルの迎撃および自律的な監視と攻撃を実現
- ・トルコ：無人システムとエマージェントAIを組み合わせ、全領域での作戦能力を強化
- ・イランと韓国：人口減少に伴い、技術自律性を強化。イランは、ウクライナ国際航空機撃墜事件を教訓に、AIの自律性が人為的ミスを防ぐ手段として重視



国防AI開発の4パラダイム

出典：Heiko Borchert, et al., The Very Long Game : 25 Case Studies on the Global State of Defense AI, Springer, July 2024.

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.5 調査結果：「国防AIの開発」

国防AI開発の地域別優先事項

1. 米国

- 無人システムとAIの統合**：特に無人システム（UAV）を活用したISR（情報収集、監視、偵察）能力を強化。有人・無人チームも注力対象
- 指揮統制（C2）の革新**：AIを用いて指揮統制の効率を向上させ、リアルタイムデータ処理と意思決定を加速。データ管理の最適化が重要視される
- 予知整備とサイバー作戦**：データ駆動型のAIを活用し、システムの保守やサイバー防御に対応。効率的な運用支援を図る

2. 中国

- 無人システムと群制御**：無人機（UAV）の群制御に焦点を当てており、AIによる自律的な作戦遂行を目指す
- 電子戦と標的識別**：敵の電子攻撃をかわすためのAI技術を発展させ、標的の識別や分類にAIを利用
- 国防AIの輸出**：他地域（中東など）に防衛技術を輸出し、影響力を拡大中

3. ロシア

- 自律型偵察・打撃複合体**：完全自律型の偵察・攻撃システムを開発。AIを搭載し、敵に対する迅速な対応を実現
- 電子戦と無人システムの統合**：無人システムと電子戦能力をAIで支援し、迅速かつ効果的な作戦遂行を目指す
- 予知整備**：ロシアもAIを活用した保守とメンテナンスの効率化を進めている

4. 欧州およびNATO諸国

- 国防AIの広範な応用**：ISRやC2、無人システムの統合が主要な優先事項。NATO加盟国間の協力が深まっている
- 予知整備およびサイバー防御**：サイバー領域での国防AIの活用が急速に進展
- AI搭載の指揮統制システム**：欧州各国は、AIを指揮統制システムに取り入れ、リアルタイムの意思決定を支援している

5. 中東諸国

- 電子戦と無人システムの導入**：トルコ、イランが主導し、AI技術を使った無人システムや電子戦能力の強化を進めている
- イスラエルの影響力減少**：ガザ戦争の影響で、地域内でのイスラエルのAI開発への影響力が低下している

6. アジア太平洋諸国

- 米国との連携強化**：日本、韓国、台湾は米国と緊密に協力し、防衛AI技術を共同開発。シンガポールやオーストラリアも同様の動き
- 無人システムの導入**：各国がAIを統合した無人システムを防衛に導入。ISRや予知整備が主要分野

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.5 調査結果：「国防AIの開発」

各国の国防AI開発事例（2 / 2）

Use case	USA	CAN	GBR	SWE	FIN	EST	DNK	DEU	NLD	FRA	ESP	ITA	GRE	TUR	RUS	UKR	ISR	IRN	IND	CHN	JPN	KOR	TWN	SGP	AUS
Air defense			■				■	■		■					■			■					■	■	
Battle/combat management																■								■	
Command and control	■		■		■	■		■	■	■		■			■		■	■		■	■	■		■	
Common operational picture			■		■	■	■	■		■	■		■		■					■			■	■	■
Cyber/CNO	■	■			■	■				■			■		■	■	■	■		■	■		■	■	
Data analytics/management		■	■	■			■	■	■		■		■	■	■	■		■	■				■	■	
Decision and planning support		■			■				■	■		■		■	■				■		■	■		■	■
Disaster relief	■																							■	
Electronic warfare (EMSO)					■			■	■					■	■	■		■		■					
Encryption			■			■							■												
Enterprise services			■					■	■	■									■				■	■	■
Fire support (e.g., artillery)						■								■	■									■	
Force protection (incl. CBRN)					■					■	■	■												■	■
Intelligence, surveillance, reconnaissance	■		■	■	■	■		■	■	■		■	■		■		■	■	■	■	■	■	■	■	■
Influence/ information operations			■							■					■	■				■				■	■
IOD/MCM/mine clearance/UXO			■							■		■	■		■	■									

(continued)

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.5 調査結果：「国防AIの開発」

各国の国防AI開発事例（2 / 2）

Use case	USA	CAN	GBR	SWE	FIN	EST	DNK	DEU	NLD	FRA	ESP	ITA	GRE	TUR	RUS	UKR	ISR	IRN	IND	CHN	JPN	KOR	TWN	SGP	AUS
Manned-unmanned teaming			■	■	■	■		■	■	■		■		■					■	■		■		■	■
Medical services			■							■												■	■		
(Mission) planning			■			■	■	■															■	■	
Modelling, simulation, red teaming, Wargaming			■					■					■	■	■	■			■	■			■	■	
Precision effects (e.g., missiles, torpedoes)								■		■	■				■			■							
Predictive maintenance, logistics, MRO	■		■	■	■			■	■	■	■		■		■	■	■			■		■	■	■	■
Safety									■																
Space and space-based assets			■					■							■										
Swarming			■		■			■		■				■	■	■			■	■					
Training (incl. Simulation-based training)			■					■				■	■	■	■				■	■	■	■	■	■	
Tactics development								■																	
Target detection, classification, identification			■					■		■	■	■		■	■	■			■	■	■		■	■	■
Uncrewed systems	■	■	■	■	■	■		■	■	■		■	■	■	■	■	■		■	■	■	■		■	■
Uncrewed systems: Counter solutions			■											■		■								■	

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.5 調査結果：「国防AIの開発」（省略）

国防AI開発における多国間協力と課題

1. 多国間協力の事例

- **AUKUS（豪州、英国、米国）**：Pillar Two協力において、多国間で国防AI開発が進行中（Pillar Two協力は、3国間で高度技術の共有と共同開発を促進する枠組みで、特にAI、量子技術、サイバー分野の強化が目的）
- **Global Combat Air Program（GCAP）**：英国、イタリア、日本が共同で取り組み、将来的に国防AIの開発を含む可能性がある
- **欧州防衛基金（EDF）**：エストニア、フィンランド、イタリア、ギリシャ、スペインが、欧州防衛基金を通じて国防AIを共同開発

2. 多国間協力における課題

- **所有権の問題**：多国間で開発した国防AIの将来的な国家所有権が不明確
- **相互運用性の問題**：各国が異なるデータ保護/共有体制でAIを開発するため、AIモジュールの相互運用性が課題
- **国益との衝突**：国防AIを自国の防衛産業として捉え、オーストラリア、ドイツ、フランス、オランダ、英国が協力を制限する可能性
- **オランダ**では、TNO（政府所有の研究機関）が主導して国防AIを開発

3. 誰が技術を採用するかという課題

- **既存システムへのAI導入**：AIは既存のシステム設計に適応し、主要タスクに沿った性能を発揮
- **戦術開発のためのAI導入**：戦術に基づいたAI導入はシステム設計を再構築する可能性があり、普及が難しい場合も
- **競争優位性**：既存のソリューションを改善するためにAIがますます重要になり、競争力の維持に寄与

4. トルコの特異な立場

- **トルコ**：国際的な国防AIパートナーシップを求めているが、NATOのイニシアチブには参加し、国防AIソリューションを標準化して輸出の可能性を高めている

3. 軍用AI適用の最新動向:25か国の国防AIに関する調査

3.6 調査結果:「国防AIの組織」

国防AIの組織化アプローチ

1. 組織改革と国防AIの重要性

- ・**組織構造**は、国防AIの導入と成功を左右する重要な要素
 - ・Jensen et al. (2022): 組織の情報の流れが技術適応を促進または妨害する
- ・各国は、AI導入のために**組織改革**や新規プロジェクトを進めている

2. プロジェクトベースのアプローチ

- ・**米国: Project Maven** : ISRのためのAIプロジェクトで、初期段階で成功 : **JAIC**から**CDAO** (Chief Digital and AI Office) 移行し、AIおよびデジタル技術の統合的管理を実現
- ・**フランス: ARTEMIS.IA** : 公私連携プロジェクトとして大規模データ分析を目指したが、競争性の問題により期待された成果を達成できなかった

3. 既存組織へのAI導入

- ・**トルコ**: 防衛産業事務局 (SSB) がAIの調整を担当し、既存組織で効率化を図る
- ・**フィンランド**: 新しいユニットを設立せず、マトリックスアプローチを採用
- ・**エストニア**: サイバーコマンドを通じて国防AIを展開

4. 新組織の設立例

- ・**米国**: **CDAO** (デジタル・AIオフィス) が**AIおよびデジタル技術全般を統合管理**
- ・**インド**: **国防AI評議会 (DAIC)** および**国防AIプロジェクト局 (DAIPA)** がAI開発を推進
- ・**ロシア**: **国防省AI技術開発部門**を設立し、国防AIの研究開発を加速
- ・**オランダ**: **データサイエンスセンター**を設立し、AIとデータ活用を推進
- ・**英国**: **国防AIセンター**を設立し、AI技術と戦略を統合
- ・**韓国**: **国防AIセンター**が設立され、AI技術の研究と運用が進められている
- ・**イスラエル**: **国防省新技術開発部門**がAI研究を担当し、国防分野での活用を進める
- ・**ウクライナ**: **Brave1**および**イノベーション開発アクセラレーター**がAI技術の開発を加速

5. カナダの課題

- ・**縦割り構造 (stovepipe system)** による**部門間の連携不足**が、AI導入を遅らせる要因
- ・各部門が独自に運営され、効率的なAI技術の統合が進んでいない

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.7 調査結果：「国防AIの資金調達」（省略）

国防AIの資金調達の課題とアプローチ

1. 国防AIの資金調達の重要性と課題

- **国防能力開発**には継続的な資金が不可欠であり、**国防AI**も例外ではない
- 各国の資金規模は大きく異なり、**数十万ユーロから米国の約50億ドル**までさまざま
- 国ごとの**予算体系や資金カテゴリの違い**により、単純な比較が困難

2. 国防AI資金の主なカテゴリ

1. 「不明瞭な資金調達」

- どの予算から資金が供給されているかが不明で、**持続性も不確実**

2. 「専用のAI予算ライン」

- 国防予算に**R&Dプロジェクト**としてAIが明記され、イタリアのように民間との協力も含む

3. 「プログラムとしての記載」

- オーストラリア、フランス、イランでは、**多年度予算**で国防AIが支援されている

4. 「国防R&Dに統合」

- 国防AIが**調達プロジェクトの一部**として組み込まれているが、**全体の資金規模**は把握しにくい

3. 資金提供方法の課題

- 従来の**ハードウェア開発**向け資金調達メカニズムが、**ソフトウェア主導のAI技術**には適さない可能性
- 韓国は、民間省庁（**科学技術情報通信部**）と協力して、国防AI開発を共同資金提供

4. 資金透明性の問題

- **不透明な資金調達**が、**投資効果**や**費用対効果**を議論する妨げになっている
- 国際的な「国防AI支出の分類法（タクソノミー）」が**必要透明性を高め**、投入資金と効果を正確に把握できる仕組み

5. タクソノミーの要素

1. **リソースの透明性**：ハードウェア、データ管理、データ分析などのリソースを明確に
2. **AIモデルの性能評価**：第2世代AI（分類・パターン認識）や第3世代AI（AI戦術開発）の性能を適切な指標で評価
3. **成果重視の評価**：AI導入の具体的な**成果**や**効果**を測定する指標を設定し、効果的な投資判断を可能にする

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.8 調査結果：「国防AIの運用」

国防AIの運用状況と課題

1. 国防AIの運用状況の全体像

- 多くの国で国防AIが運用されているが、**実際のAI導入の範囲を正確に把握するのは難しい**
- EUやNATO諸国ではAI運用が進んでいるが、**ロシアとウクライナ**の戦争のように、両国ともにAIを同様の用途で使用しており、差別化が難しい

2. 国防AIの主な運用事例

- 1.無人システムとISR（情報収集、監視、偵察）が最も一般的
フランス、ドイツ、イラン、ロシア、イギリスなどは、**精密攻撃**にAIを導入
- 2.予知整備、兵站、シミュレーション訓練は約半数の国で運用
- 3.サイバー作戦や空域防衛での利用も多いが、AIによる**状況認識や指揮統制（C2）の強化**は開発に比べ実際の使用が少ない
- 4.国境警備でのAI使用は成熟しており、**ギリシャ、トルコ、イラン、インド、イギリス**で運用

4. 外国調達によるAIの導入

- 国防AIは、外国から調達したシステムを通じて導入されることが多い
- ドイツ、イタリア、オランダ、イギリスでは、**米国やイスラエル**から調達したシステムを通じてAIが国防エコシステムに統合されている
- 例：F-35戦闘機、Reaper無人機、Arrow防空システム

3. 国防AI導入の課題

- 多くの国でAI導入は**実験的プロジェクト**にとどまっており、正式な調達プログラムに移行するケースは少ない
- 2つの「死の谷」が存在：
 - ・アイデアを製品化する難しさ
 - ・研究開発から正式な調達プログラムへの移行の難しさ
- 米国の事例：Project MavenやScarlet Dragon（戦場でのリアルタイムなデータ解析や意思決定を支援）**は、AI活用が進んでいるが、正式なプログラムに移行する過程で困難が発生

5. 外国AIシステムの課題

- 1.国内AI技術との競合の可能性：外国製AIが国内技術を押しつけるリスクがある
- 2.外国AIアルゴリズムの理解と統合の難しさ：他国のAIアルゴリズムを自国システムにどの程度統合できるか、調整・管理の自由度が限られる可能性

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.8 調査結果：「国防AIの運用」

各国の国防AIの運用事例（1 / 2）

Use case	USA	CAN	GBR	SWE	FIN	EST	DNK	DEU	NLD	FRA	ESP	ITA	GRE	TUR	RUS	UKR	ISR	IRN	IND	CHN	JPN	KOR	TWN	SGP	AUS
Air/missile defense			■				■	■		■							■	■	■				■	■	
Air traffic management							■			■															
Battle/combat management			■		■		■	■		■									■					■	
Border security			■										■	■				■	■					■	
Close-in weapon systems			■				■																		
Command and control							■					■			■		■			■	■			■	
Common operational picture	■							■		■			■		■	■			■					■	
Cyber/CNO	■		■				■			■					■	■	■				■			■	
Data analytics and data management		■		■	■		■	■	■	■	■			■		■	■					■	■	■	■
Decision and planning support											■			■	■	■			■					■	
Defense industrial production														■	■										
Disaster relief	■																			■				■	
Electronic warfare			■								■				■					■					
Encryption			■												■									■	
Enterprise services					■		■	■											■			■	■	■	

(continued)

3.8 調査結果：「国防AIの運用」

各国の国防AIの運用事例（2 / 2）

[illegible]

出典 : Heiko Borchert, et al., The Very Long Game : 25 Case Studies on the Global State of Defense AI, Springer, July 2024.

各国の国防AIの運用事例

- ・**地域別の視点**：EUやNATO諸国での国防AIの運用事例が目立つが、他の地域との差は小さい。
- ・**ロシアとウクライナ**の戦争では、両国がほぼ同じ用途でAIを使用しており、差別化や戦術的な驚きはほとんど見られない。
- ・無人システムやISR（情報収集、監視、偵察）との組み合わせが最も一般的な使用例。
- ・**精密効果（例：ミサイル、砲撃支援）やデータ分析**も広く使われている。
- ・**国境警備**など一部の用途では成熟した技術と見なされており、これ以上の開発が必要とされていない。

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.9 調査結果：「国防AIのための訓練」（省略）

国防AIのための訓練と課題

1. 人材の重要性と競争

- ・AI専門人材の確保は国防AIの成功に不可欠
- ・テクノロジー企業との人材競争が激化：ビッグテック企業の財政力により、国防分野でのAI専門家の確保が難しい状況
- ・各国が、人材育成と訓練プログラムの強化に取り組む

2. 各国の訓練の取り組み

1. 兵士と国防担当者向け訓練

- ・兵士がAIシステムを正しく理解し操作できるようにするため、各国が訓練プログラムを拡充
- ・国防アカデミーのカリキュラム更新、AIを使用した戦争ゲームの導入

2. 文民と国防産業の訓練

- ・ギリシャ、韓国は文民の国防担当者も対象とした包括的な訓練を実施
- ・韓国では、科学技術省との協力により、国防人材全体のAIリテラシーの向上を目指している

4. 国防産業でのAI技術訓練

- ・スペイン、フランス、トルコ：国防産業従事者にAIスキルを習得させるためのプログラムを導入。特に中小企業が、AI技術を国防サプライチェーンに統合できるよう支援
- ・トルコのYETENプロジェクト：AI技術を活用して企業間の協力を促進し、必要なスキルの育成

3. ロシアとウクライナの国防AI訓練

1. ロシア

- ・「軍事科学部隊」を設立し、新兵がAI技術を学び、自律兵器や電子戦を中心とした訓練
- ・AI技術を使用したドローン操作や自律兵器システムの開発が進行中

2. ウクライナ

- ・戦場をAIの実験場として活用し、ドローン戦争やサイバー戦でAIを使用
- ・AI技術は、リアルタイムでのデータ分析や標的特定、損害評価に使用されており、BRAVE1プログラムを通じて、AIを活用した無人システムの開発を促進

5. 国際協力の新たな視点

- ・国際的な国防AI開発において、パートナー国間で人材の自由な移動が重要
- ・人材不足が顕著であり、各国間の協力と人材の確保・維持が課題
- ・NATOイノベーションファンドのような国際協力を進める新たなイニシアティブが提案されている

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.10 調査結果：「調査結果の解釈」（省略）

期待の確認：国防AIの採用プロセス

1. 段階的な技術普及のプロセス

- 新技術や軍事アイデアの普及は**段階的**なプロセスで進行する。
 - ・ 模倣 → 既存の実践を採用 → **新しい概念や戦術の開発**という段階的進展をたどる。
- **Raskaの理論**（2016年）に基づき、国防AIも同様にこの多段階プロセスを経て進化している。彼の理論は、軍事技術や戦略の導入が**模倣から独自の発展**へと進化する過程を体系化したものである（注：Raska, Michael. *Military Innovation in Small States*, 2016, pp. 168-169）。

2. 現在の国防AI模倣

- **中国、ロシア、イラン**は、**米国の国防AI統合**を詳細に分析し、自国の戦略に適応
これにより、米国のAI活用に対抗し、自国の**弱点とチャンス**を探っている。
- **欧州とアジア太平洋地域**の米国の同盟国も、**相互運用性**を高め、協力を強化するため、米国のAI技術を模倣

3. 逆模倣（Reverse Emulation）

- 技術的に進んだ国々は**逆模倣**を通じて、**挑戦者の動向**を監視し、自国のAI技術が脅威に対応できるかを評価している。
- **中国の軍民融合**が国際的なベンチマークとなっているが、その実施には課題も多い

4. ウクライナからの教訓

- **ウクライナの国防AI技術**は、**ボランティア主導の技術革新**を生み出し、**EUやNATO諸国**が注目している。
- しかし、ウクライナの**データ共有と情報統合**は、欧州の**プライバシー保護規制**では再現が難しいという問題もある。
- ウクライナでのAI技術の導入が、他国で同様に行えるかどうかは、慎重な検討が必要である。

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.10 調査結果：「調査結果の解釈」（省略）

国防AIの意外な発見（Surprise）

1. 真の「ディストラプター」の不在

- 現時点では、国防AIにおいて**大規模なディストラプション（破壊的イノベーション）**は見られていない。
- 軍事的な変化は、**組織、技術、運用**の変更によるものが多く、目に見える形で現れるのは後になる場合が多い。
- 各国は、「**最初に動くリスク**」を回避する傾向が強く、「**機械自律性**」の導入を躊躇している。

2. デジタル化と国防AIの関係の誤解

- デジタル化が進んでいる国が**必ずしも国防AIにおいて成功しているわけではない**。
- 例として、**エストニアやイスラエル**はデジタル技術のリーダーであるが、国防AIへの適用は遅れている。
- 商業セクターと国防セクターが分断**されていることが、進展を阻害している。

3. 国防産業のイノベーションの遅れ

- 国防産業におけるイノベーションが、防衛技術や軍事イノベーションに比べて遅れている。
- 政府の積極的な支援**が必要であり、国防産業の変革を促す**管理体制の強化**が求められている。

4. ロシアとトルコの例外

- ロシアとトルコ**は、**国産の国防産業能力**を強化するためにAIを活用し、注目されている。
- 特に、ロシアの「**適応サイクル**」は、戦場の教訓を迅速に反映する取り組みとして評価されている。

5. 米国と中国に関するサプライズの不在

- 米国と中国は、それぞれが国防AIの重要なプレイヤーであるが、**大きな破壊的変化（ディストラプション）は見られない**。
- 次の大きな革新となる可能性があるのは、**第三波AI技術や機械自律性の強化**だが、どちらの国もリスクに対して慎重である。

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.10 調査結果：「調査結果の解釈」（省略）

国防AIに関する不都合な真実

1. 国防AI倫理に関する不一致

- 国防AI倫理は国によって重視される度合いが異なり、**国ごとに動機や強調点が異なる。**
- フランスとイギリスは、信頼性の高い国防AI開発を監視するために特別な国防省委員会を設立**
- ロシアと中国は、国防AI規制を米国の制約の手段として捉え、戦略的自由を確保**
- インドは責任ある国防AIの使用を支持するが、国際規制への署名には消極的**

2. 戦争による倫理の再調整

- ウクライナやイスラエルの事例では、戦争が倫理的な規範を再調整**
- イスラエルでは、戦時には精度よりもダメージ重視の戦術が採用され、AI使用の基準が低下する可能性**
- ウクライナでは、AIを遠隔操作するための接続が難しくなり、「人間が関与する」原則の維持が技術的に困難。戦時中の状況が技術利用の規範を変化させる可能性**

3. 非民主主義国家に関する警告

- 非民主主義国家（中国、ロシア、イラン）も、国防AI導入において民主主義国家と同様の障害に直面**
- 軍民融合は、これらの国で進んでいるように見えるが、実際には技術やアイデアが軍事産業に浸透するのは困難**
- これらの国々も新技術に対してリスクを過度に取ることはなく、政権の存続を危険にさらすような賭けはしない。**

4. 非民主主義国家のエミュレーション（模倣）

- 非民主主義国家間での模倣や制裁への対応に関する研究が必要。これらの国々は、米国の影響力の低下を信じ、国防AIを利用して米国やその同盟国の決意を試す可能性**
- ロシアは大手国防輸出国であり、中国も中東、アフリカ、ラテンアメリカでの国防輸出を強化**
- イランは代理勢力を持ち、AIを利用してこれらの勢力に技術や知識を転送する可能性があり、AI関連技術を代理勢力を通じてテストすることが考えられる。**

結論

国防AIに関する倫理、戦時の規範変更、非民主主義国家の技術導入に関する課題が強調され、戦争や競争がAI技術の利用を複雑化させている。

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.11 調査結果：「結論」

国防AIの進展と課題

1. 国防AIの進展の違い

- 本調査では、25か国で**国防AI**が進展しているが、**動機**、**ペース**、**優先順位**は国ごとに異なる。
- 全体としては、**データ中心と人間中心のAI**が現在の主流である。

2. 第三波AIの理解と規制

- 現在の国防AI議論は**第二波AI**に集中しているが、**第三波AI**は異なる影響を持ち、より高度な状況認識が可能。
- 第三波AIは**データ依存が低い**一方で、**高度な計算能力**を必要とするため、**規制の面で課題**が多い。

3. 第三波AIの予期せぬ行動

- 第三波AI**では、**予期せぬ行動（エマージェンス）**が生まれる可能性があるが、それが常に**有害**とは限らない。
- 行動が**説明可能かつ検証可能**であれば、軍事利用に適している可能性がある。

4. AIの戦場での評価

- AIは他の**技術と連携**して使用されるため、その真の影響は総合的に評価されるべき。
- 国防AIの進展を測るための**総合的なベンチマークは存在しない**ため、各国の目標と状況に応じた評価が必要。

結論

国防AIは進展しているが、依然として**データ中心と人間中心のアプローチが主流**であり、特に**第三波AI**は技術理解と規制に**新たな課題**をもたらしている。

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.12 調査結果：「米国の国防AI」

米国の国防AI導入の遅れ：原因と対策

1. 遅れの原因

- 複雑な調達プロセス**：官僚的で長期的なプロセスがAI技術の迅速な導入を妨げている。
- データ不足とサイロ化**：必要なデータが各部署に分散されており、AI開発が停滞している。
- STEM分野の人材不足**：AIに精通した専門人材が不足しており、技術導入が遅れている。
- 既存技術への依存（Luddism）**：従来技術に対する依存が強く、新技術であるAIの導入に抵抗がある。
- 「死の谷」の問題**：技術の研究開発から実戦配備までの間にギャップが存在し、多くの技術が停滞している。

2. 対策と改善策

- CDAOの設立**：AIプロジェクトの統合を進め、データリソースを一元化。
- AI戦略の更新（2023年）**：最新の技術と優先事項を反映し、**AI倫理を重視した戦略**を策定。**責任あるAI原則**。
- Replicator Initiative**：18～24ヶ月以内に数千台の自律型システムを導入し、技術のスケールアップを目指す。
- STEM人材の育成**：AI専門人材の採用と育成を推進。
- 調達プロセスの改善**：Defense Innovation Unit（DIU）を活用し、技術の迅速な採用を促進。

3. 期待される効果

- 迅速なAI技術の実用化**：新しいプロセスによって技術の研究から運用までの時間が短縮される。
- 組織の柔軟性向上**：統合された構造でAI技術の導入が促進される。
- 技術優位性の確保**：他国との競争での優位性を維持し、安全保障に貢献。

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.12 調査結果：「米国の国防AI」（省略）

国防AIの考え方

1. 国防AIの重要性

- 軍事的役割**：AIは、軍事作戦の効率化と戦力強化を促進する**エネンブラー**。
- 国際競争**：中国は2030年までにAIで世界をリードしようとしており、AI技術は**国家競争力の核心**。

2. 米国の国防AIの立場

- AIの価値**：AIは、米国の**技術的および軍事的優位**を維持・強化するために不可欠。
- 中国の技術挑戦**：国防AIは、米国が中国の技術的挑戦に対抗するための**戦略の中心**。

3. 米国におけるAIの定義

- 2018年の国防AI戦略**：AIを「**人間の知能を必要とするタスクを機械が実行する能力**」と定義。
- 技術の広がり**：WWII時代の自動操縦から現代の自律型ビークルまで、幅広い技術が含まれる。

4. AIと自動/自律システムの区別

- AI**：学習や推論を行う能力を持つ。
- 自動システム**：事前に**プログラム**された指示に従って作動。
- 自律システム**：プログラムに基づき動作するが、**必ずしもAIを活用しない**。

5. 米国がAIを求める理由

- 国家戦略**：AIはトランプ政権からバイデン政権に至るまで、**米国の国益を達成する重要な柱**。
- 中国の脅威**：中国は唯一、米国の技術的優位に持続的に挑戦できる競争相手とされる。

6. 技術投資の重要性

- 研究・開発**：AI技術の一部は実用化に近づいているが、多くはまだ**研究の初期段階**にある。さらなる投資が不可欠。

結論

- AI技術の重要性**：米国の**技術的および軍事的優位**を維持するため、AIは**不可欠な技術**である。
- 競争と迅速化**：中国の技術的進展に対応するため、米国は**AIへの投資と導入のスピードを上げる**必要がある。

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.12 調査結果：「米国の国防AI」（省略）

国防AIの開発（1 / 2）

1. 国防AIの進展

・AIの役割:

- ・ 過去5年間で、国防AIは**米国の技術リーダーシップを強化する重要な技術**となった。
- ・ 国防総省（DoD）は、AI導入に向けた政策とシステムを進化させている。

2. AI戦略の進化

- ・ **2018年: 「Harnessing AI to Advance Our Security and Prosperity」戦略**でAIを「**人間中心のツール**」として位置づけ、**Joint Artificial Intelligence Center (JAIC)** を設立。
- ・ **2022年: RAI (Responsible AI) 戦略**でAI倫理原則を導入し、AIと自律システムに関する指針を強化。
- ・ **2023年: 「Data, Analytics, and Artificial Intelligence Adoption Strategy」**により、**最新の優先事項**に基づき戦略を更新。

3. 米国は遅れているのか？

・技術的遅れ:

- ・ 米国はAI研究では強みを持つが、**DoDによるAI導入は遅れている**。2021年の政府支援AI論文は**全米で4%未満**。
- ・ AI導入には、技術だけでなく**組織改革**も必要。

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.12 調査結果：「米国の国防AI」（省略）

国防AIの開発（2 / 2）

4. AIの導入課題

- **ラダイト主義：**
 - 新技術導入への抵抗がDoD内で見られ、既存の技術に固執する傾向がある。
- **「死の谷」：**
 - AI技術は開発後、実際の軍事利用に至るまでのプロセスが遅れ、**技術の実験成功が実運用に結びついていない。**

5. 国防AI開発システム

- **Replicator Initiative：**
 - 2023年に始動。次の18～24か月で数千の自律型システムを配備し、**「死の谷」を克服**することを目指す。
 - 成功すれば、他の分野でも迅速な技術導入が可能になる。

6. 最新の国防AIの優先事項

- **責任あるAI：** AI倫理原則に基づき、技術導入をガイドする。
- **データと分析の強化：** データ管理と分析の効率化でAIシステムを強化。
- **自律システムの拡充：** 様々な領域で自律型システムを展開し、戦力を増強。
- **組織改革：** 官僚的な障害を除去し、柔軟で迅速なAI導入を推進。

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.12 調査結果：「米国の国防AI」（省略）

国防AIの組織

1. AIの発展と過剰期待

- ・**過去のサイクル：**AIは進展と過剰期待を繰り返し、期待に達しないと投資が減少（AI冬）。
- ・**初期のAI研究：**1950年代、DARPAが機械翻訳などのAI技術を支援。

2. Project Maven時代（2017–2018）

- ・無人機の映像分析の自動化に成功。
- ・**成功の要因：**小規模で運用重視の組織構造と迅速な導入（90日スプリント）。

3. JAIC時代（2018–2022）

- ・**設立：**AIを国防の中核に据えるため設立。
- ・**課題：**
 - ・ **方向性の混乱：**AI開発者と軍事サービスのサポート役割の両方を担うことになり、目的が不明確に。
 - ・ **権限不足：**各軍部門間のAIプロジェクト統合を強制する力がなく、部門間の連携が不十分。
 - ・ **プロジェクトの分散：**AI関連のプロジェクトが多様化しすぎ、管理が難しくなった。

4. CDAO 時代（2022–現在）

- ・**設立：**CDAO（Chief Digital and Artificial Intelligence Office）が設立され、JAIC、Defense Digital Service（DDS）、Chief Data Officer（CDO）の業務を統合。
- ・**改善点：**
 - ・ **データとAIの連携：**データがAI運用において不可欠であるため、**データ管理とAI導入の統合を強化。**
 - ・ **効率的な技術導入：**官僚的な障害を減らし、AI技術を迅速に国防システムに統合。
 - ・ **プロジェクトの一元管理：**分散していたAIプロジェクトを統合し、重複やギャップを減らすことで、より効率的な運用を実現。

5. 国防AIEコシステム

- ・**DARPA：**50以上のAI関連プロジェクトを推進。基礎研究から応用技術まで幅広く支援。
- ・**Defense Innovation Unit（DIU）：**商業技術を迅速に軍事に導入。2016–2021年で892.7百万ドルの契約を締結。

6. 同盟国との連携

- ・**AUKUS：**AIや自律技術を含む先端技術分野で協力し、中国の技術優位に対抗。

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3. 12 調査結果：「米国の国防AI」

国防AIの運用：概要

1. ISR（情報、監視、偵察）

- ・概要： AIは、大量のデータ分析やパターン認識に優れ、ISR能力を向上。
- ・事例： **Project Maven**（AIを使った映像・画像の自動解析）
- ・効果： 作戦領域でのターゲティング精度向上。

2. サイバー防御

- ・概要： AIはサイバー脅威をより迅速かつ精度高く検出。
- ・事例： 海軍と陸軍は、商業および政府データで訓練された機械学習アルゴリズムを使用。
- ・効果： サイバー攻撃への即応性と防御力強化。

3. 自律型システムとビークル

- ・概要： AIが車両や兵器システムに組み込まれ、自律的な運用を実現。
- ・事例： **Navy's Ghost Fleet**（AIを搭載した無人艦隊の開発と運用プロジェクト）、**Air Force's Golden Horde**（AIを利用して複数のスマート兵器が連携して目標を攻撃する実験プロジェクト）
- ・効果： 無人艦や自律型スマート兵器がより効率的に任務を遂行。

4. 指揮統制

- ・概要： AIを使い、戦場でのデータ収集と統合を迅速化し、指揮官がリアルタイムに意思決定。
- ・事例： **JADC2、Army's Firestorm**（次のスライドで詳細）

5. 災害救援

- ・概要： AIで災害対応の迅速化と精度向上。被災地の人員やインフラの特定を支援。
- ・事例： JAICの人道支援プロジェクト（NMI）。
- ・効果： AIによる被害分析や災害救援の効率化。

6. 兵站

- ・概要： AIを活用して、部品や装備のメンテナンスを予測し、効率的な管理を実現。
- ・事例： **予知整備**
- ・効果： 部品故障の予測により、稼働率向上とコスト削減。

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3. 12 調査結果：「米国の国防AI」

国防AIの運用：JADC2とArmy's Firestorm

1. JADC2

・概要:

- ・AIによって、陸・海・空・宇宙・サイバー領域を横断的に連携し、リアルタイムでデータを収集・統合・分析。
- ・センサーから得た情報を迅速に処理し、指揮官に提供。より即時かつ適切な意思決定をサポート。

・AIの役割:

- ・多領域のマルチモーダルなデータストリームを統合し、リアルタイムでの状況認識を可能にする。

・共通作戦状況図（Common Operating Picture）の作成:

- ・センサーやシステムから得た情報を統合し、重複や矛盾を解消。これにより、指揮官は一貫した状況認識を共有し、迅速かつ正確な意思決定が可能となる。

・CDAOの役割:

- ・Chief Digital and Artificial Intelligence Office（CDAO）がJADC2戦略を推進し、AIとデータ管理を統合。

・各軍のJADC2プロジェクト:

- ・陸軍のProject Convergence、海軍のProject Overmatch、空軍のAdvanced Battle Management System（ABMS）など。

2. Army's Firestorm

・概要:

- ・AI搭載のネットワークシステムで、センサーから得た情報をリアルタイムに分析し、他の部隊や同盟国に直接共有。
- ・2022年のProject Convergenceでは、米軍のセンサーから収集した情報が、オーストラリアや英国の部隊に即座に伝達され、リアルタイムでの連携を実現。

・AIの役割:

- ・AIが膨大なセンサーデータを迅速に処理し、意思決定者に即時提供。

・マルチモーダルAIの必要性:

- ・映像、音声、テキストなどの多様なデータを統合し、戦場での状況をリアルタイムで共有し、より精度の高い作戦遂行を支援。

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.13 調査結果：「中国の国防AI」

国防AIの考え方

1. 政治的文脈

- 人民解放軍は**中国共産党**の指導下にある。
- 習近平が**軍事の「知能化」**を推進。

2. 「知能化戦争」への移行

- 戦争形態は「機械化」から「情報化」、さらに「**知能化**」へと進化。
- **AIやクラウド技術**が不可欠。

3. 「システム対システム」作戦

- 戦争はICTを活用した「**システム対システム**」の競争と捉え、AIによる情報優勢が重要。
- **OODAループの加速**で敵の意思決定を上回る。

4. 未来の作戦および戦略の概念

- 無人プラットフォームやサイバー空間での作戦拡大。
- AIで敵の脆弱性を狙った「**多領域精密戦争**」(MDPW)。

5. 戦略的安定性と倫理

- AIは**人間の統制下**で運用されるべきという原則。
- **戦略的安定性と倫理基準の確立**が求められる。

6. 指揮統制システムへのAI適用

- **AIによるリアルタイム情報処理と指揮統制の強化**。
- 敵の意思決定を迅速に凌駕。

結論

中国の国防AIは、「**知能化戦争**」に対応するため、**技術革新と戦略的な軍事能力向上**を目指している。特に、**AIによる情報優位と指揮統制の強化**が中国の国防戦略の鍵となっている。

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.13 調査結果：「中国の国防AI」

国防AIの開発

1. 「軍民融合」と民間セクターの主導

- **民間主導**：AI開発は民間セクターが主導、PLAの研究は限られている。
- **軍民融合（MCF）政策**：民間企業と軍事部門の協力を促進し、相乗効果を目指す。
- **補足**：2017年の「新世代AI発展計画」では、民間と軍の技術の双方向転換が強調されている。

2. 米国の輸出規制の影響

- **半導体依存**：中国のAI開発は、米国の輸出規制により先進的な半導体技術への依存が課題。
- **輸出規制の影響**：2022年、2023年の規制により、中国のAI開発に制限がかかる。
- **補足**：今後の開発に影響を及ぼす可能性がある。

3. 人的資本

- **人材不足**：AI分野で高度な人材が不足、2022年には約48万人の不足が予測されている。
- **軍事と民間の競争**：PLAは、民間企業との人材獲得競争において不利な立場。
- **補足**：大学との連携強化や待遇改善による対応策でも不十分。

4. 国際的な協力

- **国際協力**：中国のAI研究の22%は国際協力によるもので、米国が主要なパートナー。
- **ロシアとの協力**：中国とロシアの戦略的パートナーシップにより、AI開発でも協力が進展。
- **補足**：政治的な緊張下でも、特にロシアとの協力関係が強化。

結論

- **中国の国防AI開発**は、民間セクターの主導や国際的な協力を背景に進展しているが、**米国の輸出規制や人材不足が課題**となっている。

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.13 調査結果：「中国の国防AI」

国防AIの組織

1. 戦略支援部隊（SSF）の設立と解体

- 2010年代半ばに**戦略支援部隊（SSF）**を設立し、**外宇宙、インテリジェンス、電磁戦、サイバー戦**の機能を統合。
- 2024年4月に**SSFは解体**され、構成部門は**独立した兵科**としてCMC（中央軍事委員会）に報告。

2. 情報支援部隊（ISF）の役割

- ISFは「**システム・オブ・システムズ**」の開発と運用を調整する役割を持つ。

3. CMCの直接管理

- CMCが**戦略的能力**を管理し、**AI技術と民間産業の連携**を推進。
- 「**知能無人システム技術専門家グループ**」の設立で戦略目標を設定。

4. 国防AI統括機関の欠如

- 米国のCDAOに相当する組織は存在せず、習近平率いる**中央サイバーセキュリティ・情報化委員会**や**中央科学技術委員会**がAI開発を指導。

5. 民間企業と研究機関の役割

- 国防AI技術の**61%は民間企業**から供給。多くの企業は2010年以降に設立。
- 中国宇宙科技集団（CASC）**などの国有企業もAI技術開発で重要な役割を果たす。

6. 国防調達の高多様性

- 2020年の調達契約には273社が参加し、民間企業の多くがAI関連機器を提供。
- 中国の国防国有企業はAI関連機器の購入者であると同時に供給者

結論

中国は、AI技術を軍事組織の中心に据え、**民間と軍事の連携**を強化することで、国防の強化とAI開発の進展を図っている。

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.13 調査結果：「中国の国防AI」（省略）

国防AIの組織の変更

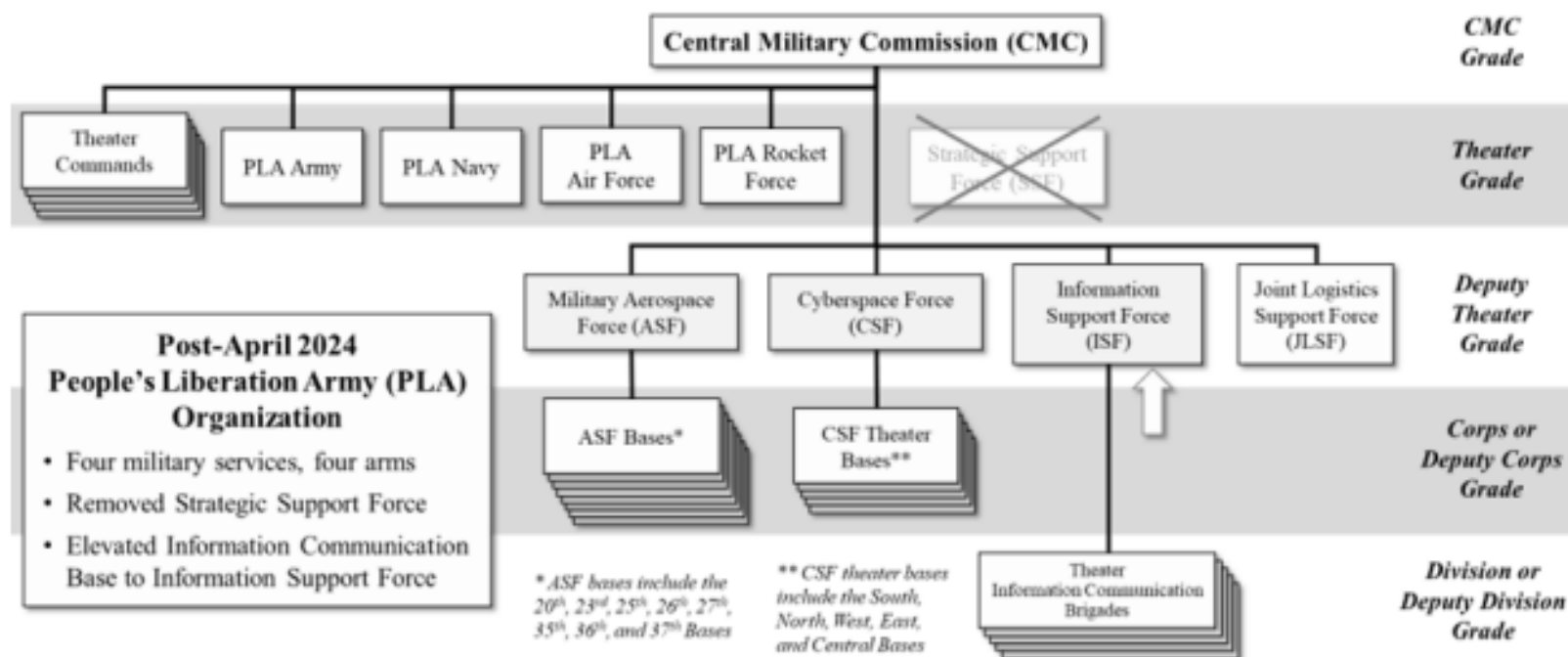


Figure 2: Post-April 2024 People's Liberation Army (PLA) Organization

出典：J. Michael Dahm, A Disturbance in the Force: The Reorganization of People's Liberation Army Command and Elimination of China's Strategic Support Force, China Brief, Vol.24, Issue 9, April 26, 2024.

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.13 調査結果：「中国の国防AI」

中国の指揮統制システムへのAI適用の要件

1. 戦略的早期警戒

- 要件：** AIを活用し、戦略的な早期警戒システムを構築することで、敵の行動を迅速に検知し、戦場での優位性を確保する。
- 目標：** 敵の意図や行動を事前に把握し、効果的な対応策を立てるための情報を提供する。

2. 意思決定支援

- 要件：** AIを用いた意思決定支援システムの導入により、指揮官の意思決定プロセスを支援する。
- 目標：** 複雑な戦場環境におけるデータをリアルタイムで分析し、最適な作戦行動を提示する。

3. 統合指揮統制（C2）

- 要件：** AIを活用した指揮統制システムの統合を通じて、情報の一元化と各部隊間の通信を円滑に行う。
- 目標：** 陸海空およびサイバー領域における作戦を統合し、効率的な指揮統制を実現する。

4. OODAループの加速

- 要件：** AIを用いて「観察（Observe）・状況判断（Orient）・意思決定（Decide）・行動（Act）」のサイクルを高速化し、敵の意思決定サイクルに先んじる。
- 目標：** 敵の行動に対して迅速な対応を可能にし、戦場での優位性を確保する。

5. 情報優位の確保

- 要件：** AIの情報処理能力を活用し、戦場における情報優位を確立するためのデータ分析・処理システムを強化する。
- 目標：** 敵に対して情報優位を確立し、戦術的・戦略的に優位な立場を保つ。

6. 多領域精密戦争（MDPW）

- 要件：** AIを活用した多領域作戦能力を発展させ、陸海空およびサイバー領域での作戦を一体化させる。
- 目標：** 米軍の作戦システムの脆弱性を標的にし、情報ネットワークを通じて作戦を成功させる。

7. 認知領域作戦

- 要件：** AIを活用して敵の認知や状況認識に影響を与える作戦を開発し、心理的優位を確保する。
- 目標：** 敵の意思決定や行動を操作し、戦意を削ぐための情報操作や心理戦を実施する。

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.13 調査結果：「中国の国防AI」

中国の国防AIにおける開発段階と運用段階の適用事例

開発段階の適用事例

1. AIによる兵棋演習システム

- ・例：「Miaosuan」プラットフォーム、AIエージェント「AlphaWar」
- ・戦略的意思決定や戦術シミュレーションのAI技術開発が進行中

2. 認知電子戦

- ・敵の通信・レーダー信号を妨害するAI技術の開発

3. 無人プラットフォームのAI制御

- ・UAV・UUVのAI自律運転・目標識別技術を開発中

4. サイバー作戦の自動化

- ・攻勢的・防勢的サイバー作戦のAI自動化技術開発が進行中

5. AIによる指揮統制システム（C2）

- ・戦術・作戦レベルのリアルタイム意思決定支援技術の開発

運用段階の適用事例

1. 無人航空機（UAV）と無人水中機（UUV）

- ・海洋・空域での監視・偵察に使用、リアルタイム情報収集が可能

2. ミサイルシステムの自動化

- ・AIで自動化されたミサイル発射システムが実戦に適用

3. 予知整備と兵站管理

- ・AIによる装備のメンテナンス・物資供給の最適化

4. AIを活用したシミュレーションと訓練

- ・無人機や航空機の操縦訓練にAIシステムが運用中

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.14 調査結果：「ロシアの国防AI」

国防AIの現状と課題

1. ロシアの国防AIへの注力

・経済的困難とウクライナでの戦争

- ・ 経済的な制約や戦場での問題にもかかわらず、ロシアは**AIや新興技術（EDT）の開発を強化**している。
- ・ 伝統的に、先端技術が軍事力と戦略的優位性に不可欠と考えられてきた。

2. AI開発の重要性

・国際的影響力の強化

- ・ AI技術は、ロシアの国際的な位置と影響力に大きく影響を与えると認識されている。

・2つの主な動機

- ・ **軍事力の強化**：AIが西側諸国との能力差を縮小すると期待。
- ・ **脆弱性への懸念**：AI技術が敵対国に悪用されることへの恐れ。

3. ウクライナ戦争の影響

・AI技術の優位性

- ・ ウクライナでの戦争は、AI追求をさらに加速させた。
- ・ ロシア当局は、AI搭載兵器が戦場での明確な優位性を提供することを学びつつある。

4. ロシアのAI戦略

・国際技術競争

- ・ ロシアはAIを**国際的な技術競争**と捉え、他国に後れを取らないよう技術開発に取り組んでいる。

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.14 調査結果：「ロシアの国防AI」

国防AIの考え方（1 / 2）

1. ロシアにおけるAIの定義と技術区分

・AIの定義:

- ・ ロシアはAIを「**人間の認知を模倣し、知的タスクを人間と同等またはそれ以上に実行する技術**」と定義。
- ・ 軍事辞典では、AIは情報検索、分析、意思決定支援、自動命令生成などを行うサイバーシステムとされている。

・自動化と「知能化」の区別:

- ・ **自動化（avtomatizatsiya）**:遠隔操作や半自律型武器システムなど、旧ソ連時代からの技術。
- ・ **知能化（intellektualizatsiya）**:機械学習やAIの要素を統合し、**自己学習や適応性**を持つシステム。

2. AIによる軍事システムの進展

・武器システムの自律化:

- ・ AIが進化することで、**武器システムはさらなる自律性を獲得し、最終的には人間を戦場で代替する可能性**があるとロシアは見ている。

・LAWS（致死적自律兵器システム）に関する立場:

- ・ ロシアは、「**意味のある人間のコントロール**」が失われることを許容できないが、同時に**国際的な規制には慎重な姿勢**をとっている。

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査：

3.14 調査結果：「ロシアの国防AI」

国防AIの考え方（2 / 2）

3. AI技術の軍事利用に対する期待

・軍事力強化：

- ・ ロシア政府は、AI技術が西側諸国との能力差を縮小し、**軍事力を大幅に強化できる**と期待している。
- ・ AIは、装備やシステムの**質的飛躍**をもたらし、非対称的な形で軍事優位性を実現する可能性がある。

4. AI技術がもたらす脅威

・脆弱性への懸念：

- ・ AIが**新たな脆弱性や安全保障上のリスク**を生み、敵対国に悪用される可能性があるとしてロシアは懸念している。
- ・ AI技術は、戦争の性質や危機のエスカレーションのダイナミクスを変え、ロシアにとって**存在的脅威**となる可能性がある。

3. AI競争への参加は必然

・ロシアのAI戦略：

- ・ ロシアは、米国やNATOとの**AI技術競争に参加することは不可避**であると考えている。
- ・ 限られた資源を持つロシアは、AI技術を「**戦力の倍増器**」として活用し、短期間での優位性を確保しようとしている。

・軍事応用分野：

- ・ **指揮統制、意思決定支援、高精度兵器、無人システム、サイバー攻撃** など、AI技術が軍事の近代化と能力強化を加速させる。

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.14 調査結果：「ロシアの国防AI」

国防AIの開発

1. 戦略文書とAIプロジェクト

・ロボティックコンプレックスの開発

- ・「2025年までのロボティックコンプレックスの開発と戦闘利用のコンセプト」（2014年）
無人システムやAI搭載兵器の軍事利用を推進する文書。
- ・「2030年までの軍事目的のロボティックシステムの利用コンセプト」（2014年）
自律型兵器システムや無人航空機（UAV）、無人地上車両（UGV）の開発を促進。

2. 経済開発と連携したAI開発

・デジタル経済プロジェクト（2021–2024年）

- ・ AI技術を活用し、ロボティクスやAI技術を用いたシステム開発を進める国家プロジェクト。
- ・ 医療、交通、エネルギーなどの産業分野にもAI技術を展開。

3. AIロードマップと国家戦略

・Sberbank AIロードマップ（2019年完了）

- ・ AI技術の研究開発、段階的導入、商業化を目指すロードマップ。
- ・ 軍事および民間分野でのAI活用を強化。
- ・人工知能開発国家戦略（2030年まで）（2019年）
 - ・ プーチン大統領が署名した国家戦略。AIの研究開発、インフラ整備、教育、法的枠組みを含む目標を設定。

4. 最新のAI導入計画

・AI兵器システムの開発と使用に関する概念（2022年7月）

- ・ AIを用いた兵器システムの開発と使用に関する機密文書。ロシアの軍事力強化に寄与。
- ・人工知能ハイテク発展ロードマップ（2030年まで）（2022年12月承認）
 - ・ AIの大規模な導入を目指し、国内技術の推進と導入支援を実施。

5. 中国との技術協力

・輸入代替プログラム

- ・ 西側の制裁に対応するため、中国とのAI、ロボティクス、バイオテクノロジー分野での協力を強化。

3. 軍用AI適用の最新動向:25か国の国防AIに関する調査 :

3.14 調査結果 :「ロシアの国防AI」

国防AIの組織（1 / 2）

1. AI研究開発（R&D）エコシステムの拡大

- 近代化プログラム（2008年開始）の一環として、**AIの研究開発エコシステム**が拡大。
- 伝統的なトップダウン型の国家主導モデルに加え、**民間部門との協力**も進行。
- 目的:** リソース、才能、経験を共有し、技術開発のシナジーを生む。

2. 軍民協力プラットフォームの構築

- 2022年時点:** 150以上の産業企業や研究機関が、兵器システムや戦闘運用におけるAI技術開発のために共同。
- 国防省とロシア科学アカデミー、大学、産業界が連携する**R&Dエコシステム**は、1,200以上の機関が参加。

3. 主要な技術革新センター

- ERAテクノポリス**（2018年設立）
 - ・新興技術や破壊的技術（EDT）を軍事目的で開発。**AI搭載の指揮統制システム**、ロボティクス、パターン認識、ナノテクノロジーなどを優先。
- 先進研究基金（FPI）**（2012年設立）
 - ・無人地上ビークル「Marker」や自律型システム、**AI意思決定システム**などを開発。

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.14 調査結果：「ロシアの国防AI」

国防AIの組織（2 / 2）

4. 産業・学術機関との協力

- ERAは、**クルチャトフ研究所**、**ロサトム**、その他の主要大学や研究機関と提携し、AI技術を開発。
- **ロステック**、**カラシニコフ**、**カマズ**などの産業企業も、AI兵器システムや無人ビークル、スマート兵器の開発に貢献。

5. 軍のAI専用部門と国防省の役割

- **AI技術開発専用部門**（2021年設立）
 - ・ 防衛分野でのAI技術の開発と評価を担当し、ERAテクノポリスでテストを実施。
- **国防省のGUIR（革新開発総局）**
 - ・ 2013年設立。先進兵器や軍事技術の開発とイノベーションを監督し、国内外の新技术を監視。

6. 国家AI開発センターと民間企業

- **国家AI開発センター**（2022年設立）
 - ・ 9,500の組織が参加。AI導入、インフラ計画、ソリューション選定を支援。
- **Sberbank**や**Yandex**などの企業が参加する**AI Russia Alliance**がAIソリューション市場の競争力を強化。

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.14 調査結果：「ロシアの国防AI」

国防AIの運用（1 / 2）

1. 国防AIプロジェクトの進展

- 2022年9月時点で、**500以上のAI関連プロジェクト**が進行中。222のプロジェクトが2022年中に完了予定。

2. 主要運用領域

• C4ISRシステム（指揮統制、通信、情報、監視および偵察）

- 国家防衛管理センターが提供する**ACSの統合全領域指揮統制アーキテクチャ**：情報の収集、選択、分析、意思決定支援にAI適用
- 大量のデータ収集・分析による情報優位性の確保。
- **ISBU指揮統制システム**は、迅速な意思決定を支援し、戦場での行動方針を提案にAIを適用。

• 無人ビークル（UV）：ロシアの国防AIの最高優先度

- 100種類以上の**AI対応無人ビークルを開発**。監視、偵察、標的取得、攻撃に使用。群形態。
- 無人ビークルの
- **KUB-LAカミカゼドローン、Lancet-3徘徊弾薬**はAIで**自律運用（ターゲティング、攻撃）**が可能。

3. 核兵器および高精度兵器

• AIによる核兵器システムの自律化

- **Poseidon核弾頭搭載原子力無人潜水ビークル、Burevestnik核弾頭搭載原子力巡航ミサイル、Avangard極超音速兵器、Sarmat大陸間弾道ミサイル、Kinzhal空中発射弾道ミサイル**などが含まれ、**AIによる自律的制御**で核抑止力を強化。

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.14 調査結果：「ロシアの国防AI」

国防AIの運用（2 / 2）

4. 航空宇宙および電子戦

・AI対応航空機システム

- ・ MiG-35、SU-35、SU-57などにAIを導入。目標認識や情報管理が強化され、運用効率が向上。
- ・ RB109-A Bylinaシステムは、AIを用いて電子信号を妨害し、通信とインフラに打撃を与える。

・AIによる防空システムの向上

- ・ Panssir-S：地上配備型の短距離防空システム

5. 地上システム

・T-14 Armata戦車やUran-9無人地上ビークル（UGV）、Nerekhta偵察UGVなどのAI搭載車両が実戦運用中。

・BMP-3ベースの戦闘ロボットやSinitsa遠隔操作戦闘モジュールも運用。

6. サイバー作戦および影響力作戦

・サイバーセキュリティとサイバー攻撃作戦

- ・ AIを活用したサイバー攻撃、特にウクライナでの作戦において重要な役割を果たしている。

・影響力作戦

- ・ ERAプロジェクトのAI搭載ドローン、脅威人物を検知し、影響作戦に利用。
- ・ 顔認識技術やパターン認識を用いた情報収集および行動予測が行われている。

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.14 調査結果：「ロシアの国防AI」（省略）

ERAテクノポリスの次世代指揮統制システム

1. ERAテクノポリスの概要

- ERAテクノポリスは、ロシア国防省の主導で設立され、AI技術を利用した次世代の軍事システムを開発する主要な拠点。
- 研究は指揮統制（C2）システムを含む広範な領域に焦点を当てている。
- マルチモーダルAIの適用可能性。

2. AI搭載の指揮統制システム（C2）

- ACS（自動化制御システム）：ロシア版JADC2。センサーからのリアルタイムデータを統合し、意思決定を自動化するシステム。
- ISBU（戦闘指揮情報システム）：状況認識を強化し、AIによる戦術的提案を提供するシステム。

3. システムの機能

- リアルタイムデータ統合：空、陸、海、宇宙領域からのデータを即時に処理し、状況判断を支援。
- 迅速な意思決定支援：AIを活用し、戦場での迅速な対応と正確な判断を実現。
- 多領域統合：異なる領域の部隊を一元的に管理し、最適な攻撃シナリオを提案。

4. 実施例とテスト

- カスピ艦隊演習でAIを用いた指揮統制システムを試験し、リアルタイムの脅威検出と目標優先度設定を実現。

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.15 調査結果：「ウクライナの国防AI」

ウクライナ戦争におけるAI適用事例

1. 無人システムでのAI活用

- **Army of Dronesプログラム**: AI搭載ドローンが敵の兵力・装備を監視・攻撃。
- **AIによるナビゲーションシステム**: GPSを使用せず自律的にナビゲートし、電子戦に対抗。

2. 情報収集・分析と意思決定支援

- **Deltaプラットフォーム**: 戦場のリアルタイムデータを集約、迅速な意思決定をサポート。
 - ・ **リアルタイムデータ統合**: データメッシュとデータファブリックの統合やマルチモーダルAIの適用
未確認
 - ・ 迅速な戦術アラート
 - ・ 戦術シミュレーションとシナリオ生成
 - ・ ヒューマン・オン・ザ・ループ
- **画像認識・衛星データ解析**: AIで敵の位置や装備を分析。

3. サイバー戦と偽情報対策

- **Mantis Analytics**: AIを活用した偽情報の検出・排除、ボットの監視。
- **AIによるサイバー攻撃防御**: 攻撃を即座に検出し、対策を自動化。

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.15 調査結果：「ウクライナの国防AI」

AI適用の成功要因と今後の展望

1. 市民参加とクラウドソーシング

- 市民からの情報提供をAIで処理し、戦術的意思決定をサポート。

2. 国際協力と技術サポート

- PalantirやSpaceXによるデータ解析や通信サポートが戦場の運用を強化。

3. 戦場でのリアルタイムAIテスト

- 実戦でAI技術を即座にフィードバックし、改良が加速。

4. 今後の展望

- 完全自律型兵器システムの開発：GPS不要のナビゲーションや敵対無人システムへの対抗手段の強化。
- データ活用の高度化：リアルタイムの戦場データ解析と意思決定のさらなる迅速化。

3. 軍用AI適用の最新動向：25か国の国防AIに関する調査

3.16 調査結果：「イスラエルの国防AI」

イスラエルの国防AIのAI適用事例

1. インテリジェンス（諜報活動）

- 顔認識技術を利用して、チェックポイントでの個人確認を迅速化。
- 広範な監視カメラネットワークを通じて、AIが疑わしい活動を自動検出。

2. 指揮統制システム

- 戦場情報をリアルタイムで統合し、迅速な意思決定を支援。
- 各種情報源（戦車、監視カメラ、UAV、航空機など）を統合して司令官に状況を提供

3. 無人システム（UAV・UGV）

- 無人航空機（UAV）や無人地上車両（UGV）をAIで制御し、偵察や攻撃に利用。
- 敵のロケット発射地点をAIで特定し、精密攻撃を実施。

4. ガザとの最近の紛争におけるAI活用（2021年「Guardian of the Walls」作戦）

- AIシステム「The Alchemist」（ターゲット検出）「The Gospel」（ターゲット詳細分析）を使用し、リアルタイムでターゲットを検出・分析。ヒューマン・イン・ザ・ループを使用。マルチモーダルAIの採用可能性高い。
- 高価値ターゲットの迅速な特定と攻撃により、ロケット発射装置や地下トンネルを正確に破壊。

5. サイバー防御

- Unit 8200などがAIを用いて、サイバー攻撃の早期検出と迅速な防御を実施。

6. AIによる兵器システムの制御

- 自律型無人システムやAIを活用した精密攻撃が戦闘における人的リスクを減少。

第2部 次世代指揮統制システム

- 4. 日本の指揮統制システムの現状と課題**
- 5. 米中露の指揮統制システムの動向**
- 6. 次世代指揮統制システムのための技術動向**
- 7. 次世代指揮統制システムのあるべき姿**

4. 日本の指揮統制システムの現状と課題

4.1 指揮統制システムの現状の問題

4.2 指揮統制システムの課題

4.日本の指揮統制システムの現状と課題

4.1 指揮統制システムの現状の問題

指揮統制システムの現状の問題

1. **データの断片化**：各領域のマルチモーダルデータが分散され、統合的な状況認識が困難。
2. **統合データのフィードバック不足**：統合されたデータが現場で活用されず、最新情報の共有が不十分。
3. **リアルタイム性の欠如**：データ収集・統合・解析に時間がかかり、緊急時の迅速な意思決定が難しい。
4. **相互運用性の問題**：異なる自衛隊間のシステムやデータフォーマットが統一されず、情報共有や統合作戦が非効率。
5. **セキュリティとガバナンスの問題**：統一的なセキュリティ対策やデータガバナンスの実効性が十分に発揮されていない。
6. **ソフトウェア取得の制約**：厳格な規制により、最新技術やソフトウェアの迅速な導入が困難。
7. **システムの柔軟性と適応力の不足**：新技術や戦術への適応が遅れ、変化する作戦環境への対応力が不足。

4.日本の指揮統制システムの現状と課題

4.2 指揮統制システムの課題

指揮統制システムの課題

1. 分散されたマルチモーダルデータのリアルタイム統合

各領域に分散されたマルチモーダルデータをリアルタイムで統合し、全体的な状況認識を向上させる

2. 統合データのフィードバック強化

統合データを現場に迅速にフィードバックし、即応可能な指揮体制を構築する。

3. リアルタイム意思決定支援の実現

緊急時に対応可能なリアルタイムの情報収集・解析機能の導入。

4. システム間の相互運用性向上

異なるシステム間でのデータ共有を円滑にし、統合作戦の効率化を図る。

5. 統一的なセキュリティとガバナンスの確立

分散データ環境に適応した一貫性あるセキュリティ基準とガバナンス体制の構築。

6. 迅速なソフトウェア導入プロセスの整備

新技術を迅速に導入できる柔軟なソフトウェア取得プロセスの整備。

7. ソフトウェアの継続的改善

変化する作戦環境に迅速に適応できるよう、ソフトウェアの継続的な改善と更新を推進する。

5. 米中露の指揮統制システムの動向

5.1 米国の共同統合全領域指揮統制システム（CJADC2） の概要

5.2 中国の多領域精密戦（中国版JADC2）の概要

5.3 ロシアの指揮統制システム（ACS/ISBU）の概要

5.4 米中露の指揮統制システムの比較

5.米中露の指揮統制システムの動向

5.1 米国の共同統合全領域指揮統制システム（CJADC2）の概要

米国のCJADC2の概要

1. 背景と目的

- ・背景：多様で複雑な脅威環境への対応が求められ、**全軍種が統合指揮と情報連携**を迅速に行う必要がある。
- ・目的：空、陸、海、宇宙、サイバー、電磁波など**全領域での迅速な意思決定**を可能にし、**作戦の統合運用**を目指す。

2. 基本アーキテクチャ

- ・データ統合アーキテクチャ：
 - ・データメッシュとデータファブリックの統合により、分散したデータのリアルタイム統合と即時利用を可能にする基盤を提供。
 - ・データメッシュ：各軍種やドメインが自律的にデータプロダクトを管理・生成し、現場のニーズに即応する柔軟なデータ利用を支援。
 - ・データファブリック：データメッシュ内で管理される各データプロダクトを全体でシームレスに統合し、分散したデータの一元的なアクセスを可能にする役割を担う。
- ・クラウドとエッジコンピューティング：
 - ・クラウドでのデータの中央管理とエッジでのデータ処理により、リアルタイムなアクセスと分析を実現。

3.技術的特徴

- ・データメッシュとデータファブリックの統合：
 - ・データメッシュがドメイン別のデータ管理を促進し、データファブリックが全体のデータの統合的なアクセスを提供することで、分散管理と即応性を高める。
- ・マルチモーダルAIと機械学習：
 - ・テキスト、画像、音声、センサデータなど複数のモダリティのデータソースを統合的に分析・予測し、包括的な状況認識と意思決定を支援。
- ・DevSecOpsの導入：
 - ・継続的なシステム改善とサイバー防御強化により、最新の脅威に即応。

4. 効果と課題

- ・効果：全軍種間でのシームレスな情報共有と高いサイバー防御力。
- ・課題：サイバーリスク、運用コストの増加、異なる軍種間の文化統合の課題。

5. 運用スケジュール

- ・初期運用：2020年より試験運用開始（GIDE：「Global Information Dominance Experiments」を通じた検証・改善）
- ・完全運用目標：2028年までに全軍種・全領域での完全運用を目指す。

5. 米中露の指揮統制システムの動向

5.2 中国の多領域精密戦（中国版JADC2）の概要

中国版JADC2の概要

1. 背景と目的

- ・背景：軍事の智能化が進む中、複雑な脅威に対処するため、**多領域統合指揮**が中国の軍事戦略で求められている。
- ・目的：**全領域での情報統合と精密なターゲティング**により迅速な意思決定と戦闘支援を実現。

2. 基本アーキテクチャ

- ・データ駆動のアーキテクチャ：データレイクによる一元的データ管理と、平行C2による仮想・現実の情報融合。
- ・クラウドとエッジコンピューティング：クラウドでのデータ集約とエッジでの即時分析により、リアルタイムでの状況把握と意思決定を支援。

注. 多領域精密戦（MDPW）要件：

- ・要件：AIを活用して多領域での作戦能力を発展させ、陸・海・空・サイバー領域での作戦を統合・一体化する。
- ・目標：米軍の作戦システムの脆弱性を標的とし、情報ネットワークを介して精密かつ効果的な作戦を展開する。

3. 技術的特徴

- ・DevSecOps：サイバー防御を強化し、システムの柔軟な更新を実現。
- ・平行C2：仮想空間でのシミュレーションと現実指揮を平行実行し、戦場での柔軟な指揮統制を支援。
- ・マルチモーダルAI：マルチモーダル情報融合によって、戦場でのリアルタイムな認知や意思決定を支援。
- ・PREAとOODAループ：戦略的なPREA（計画・準備・実行・評価）と戦術的なOODA（観察・状況判断・意思決定・行動）を組み合わせ、指揮統制を効率化。

4. 効果と課題

- ・効果：多領域での迅速な意思決定と柔軟な指揮が可能。
- ・課題：サイバー防御力の向上と複数ドメイン間の相互運用性強化が必要。

5. 運用スケジュール

- ・初期運用：不明
- ・完全運用目標：不明

出典：吉祥、蒋锴、成海东、全域作战指挥信息系统总体架构及核心支柱、指挥与控制学报、2023年4月。

李强、鞠卓亚、阳东升、游宁、韩嘉祺、费爱国、王飞跃、面向跨域联合作战的平行指挥控制与管理新范式、指挥与控制学报、2024年4月。

5.米中露の指揮統制システムの動向

5.3 ロシアの指揮統制システム（ACS/ISBU）の概要

ロシアのACS/ISBUの概要

1. 背景と目的

- ・**背景**：米国やNATOとの戦略的対抗において**多領域での効率的な指揮**が求められている。
- ・**目的**：**中央集権的な指揮系統**によりリアルタイムの情報共有と迅速な指揮統制を実現。

2. 基本アーキテクチャ

- ・**中央集権型データ管理**：NTsUO（国家防衛管理センター）およびOSK（戦略司令部）を基盤に、指揮統制を中央から管理。
 - ・ **ACS**：国家・戦略レベルの指揮統制を支援し、長期的な作戦目標を設定・管理。
 - ・ **ISBU**：部隊レベルの即時指揮支援に特化し、現場での作戦実行と電子戦対応を強化。

3. 技術的特徴

- ・**ACS（Automated Control System）**：
 - ・ **役割**：戦略・作戦レベルでの指揮・計画を支援し、全軍種にわたるリアルタイム情報を収集。
 - ・ **機能**：NTsUOとOSKを通じ、広範囲なデータを統合し、戦略指令と作戦計画を迅速に伝達。

・ISBU（戦闘指揮情報システム）：

- ・ **役割**：戦術レベルでの迅速な指揮支援を提供し、部隊の即応性を向上。
- ・ **機能**：**AIとビッグデータ分析を活用**し、電子戦やサイバー防御を支援。部隊の戦闘指揮をリアルタイムでサポート。

4. 効果と課題

- ・**効果**：
 - ・ ACSとISBUの役割分担で、戦略レベルから戦術レベルまで迅速な指揮が可能。
 - ・ 中央集権型の指揮管理で、情報の統一性と一貫性を保ち、効率的な意思決定を支援。
- ・**課題**：
 - ・ 分散型の指揮システムに比べ、多領域での即応対応には柔軟性が不足。
 - ・ 電子戦・サイバー戦の脅威に対し、リアルタイムな情報更新が必要。

5. 運用スケジュール

- ・**開始**：2019年に部分運用を開始し、段階的に運用を拡大。
- ・**完全運用目標**：今後、ISBUを中心とした戦術的即応支援の強化と、ACSによる長期戦略の運用最適化を目指す。

5.米中露の指揮統制システムの動向

5.4 米中露の指揮統制システムの比較

米中露の指揮統制システムの比較

項目	米国のCJADC2	中国版JADC2	ロシアのACS/ISBU
背景と目的	背景： 多領域の脅威増加に伴い、迅速かつ統合的な意思決定が必要 目的： 全軍種間の指揮・統制の統合と即応力向上	背景： 多領域戦争と情報戦が重視される 目的： 情報優位を確保し、AIによる精密ターゲティングを強化	背景： 米国とNATOに対抗するための指揮統制能力の強化 目的： 中央集権型指揮体制による迅速な作戦実施
基本アーキテクチャ	構成： データメッシュとデータファブリックを統合し、分散データ管理を実現 技術： クラウドとエッジコンピューティングで即応体制	構成： データレイクと平行C2を基盤とし、仮想と現実のデータ統合を図る 技術： クラウドとエッジコンピューティングの併用	構成： NTsUO（国家防衛管理センター）とOSK（戦略司令部）を基盤とした中央集権型 技術： 電子戦とサイバー防御を強化
技術的特徴	マルチモーダルAI： 異なるデータモダリティを統合して状況把握 DevSecOps： 柔軟なシステム更新と強固なサイバー防御	DevSecOps： 柔軟なシステム更新とサイバー防御強化 平行C2： 仮想と現実の同時管理で即応性向上 マルチモーダルAI： マルチモーダル情報融合	AIによる電子戦支援： 電子戦とサイバー防御を強化 中央集権型アーキテクチャ： リアルタイム指揮と統合的意思決定 マルチモーダルAI： 未確認
効果と課題	効果： 全軍種間での情報連携と強力なサイバー防御が実現 課題： コスト増加、文化的統合の課題	効果： 多領域での柔軟かつ迅速な指揮が可能 課題： 相互運用性とサイバー防御力の向上が必要	効果： リアルタイム指揮と電子戦能力の強化 課題： 分散運用における柔軟性の欠如とサイバー防御の向上
運用スケジュール	開始： 2020年に試験運用、GIDEでの検証中 完全運用目標： 2028年までに全軍種での完全運用を目指す	開始： 不明 完全運用目標： 不明	開始： 2019年に部分運用開始、段階的に展開中 完全運用目標： 具体的な完全運用時期は不明

6. 次世代指揮統制システムのための技術動向

6.1 次世代指揮統制システム構築に必要な技術

6.2 データメッシュとデータファブリックの統合によるデータ管理

6.3 米軍におけるデータの統合と共有の動向

6.次世代指揮統制システムのための技術動向

6.1 次世代指揮統制システム構築に必要な技術

指揮統制システムの課題

1. 分散されたマルチモーダルデータのリアルタイム統合
2. 統合データのフィードバック強化
3. リアルタイム意思決定支援の実現
4. システム間の相互運用性向上
5. 統一的なセキュリティとガバナンスの確立
6. 迅速なソフトウェア導入プロセスの整備
7. ソフトウェアの継続的改善

米中露の指揮統制システムの動向

- ・ データメッシュとデータファブリックによるリアルタイムデータ統合
- ・ マルチモーダルAIによるマルチモーダルデータ統合
- ・ AIおよび機械学習の適用
- ・ DevSecOpsによるサイバー防御の強化および柔軟なシステム更新

次世代指揮統制システム構築に必要な技術

- ・ データメッシュとデータファブリックの統合によるデータ管理
- ・ マルチモーダルAI
- ・ AIおよび機械学習
- ・ DevSecOps、DataOps、AI/MLOps
- ・ 高セキュリティクラウド基盤（IL6相当）
- ・ IWON
- ・ コンステレーション衛星

6.次世代指揮統制システムのための技術動向

6.2 データメッシュとデータファブリックの統合によるデータ管理

データメッシュ、データプロダクト、データファブリックの概要

1. データメッシュ (Data Mesh)

- ・分散型データ管理アプローチ：データをドメインごとに分散管理し、各ドメインがデータの所有と責任を持つ。
- ・4つの原則
 - ・ドメイン指向のデータ所有：各ドメインが自律的にデータ管理。
 - ・データをプロダクト化：消費可能な形でデータを提供。
 - ・セルフサービスプラットフォーム：ユーザーがデータに容易にアクセス。
 - ・分散ガバナンス：一貫したガバナンスと安全なデータ管理を維持。

注. Zhamak Dehghaniによって2019年に提唱された。

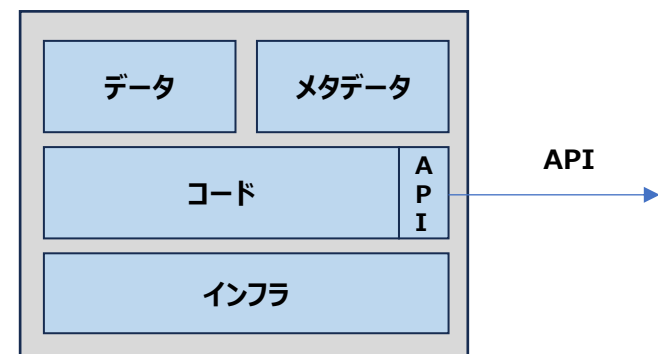
2. データプロダクト (Data Product)

- ・高品質・再利用可能なデータ単位：特定の業務ニーズに応じて提供され、データセットやダッシュボードとして利用可能。
- ・構成要素
 - ・データ：分析データおよび履歴データ
 - ・メタデータ：データの内容、構造、品質に関する情報。
 - ・コード：データパイプライン、API、ポリシー強制などのプログラムコード。
 - ・インフラ：データ保存・アクセスおよびデータプロダクトのデプロイと実行を支援する基盤。

3. データファブリック (Data Fabric)

- ・統合データ管理アーキテクチャ：異なるデータソースを柔軟に統合し、一貫性とアクセス性を確保。
- ・主要な特徴
 - ・再利用可能なデータ統合サービス：データの統合を効率化。
 - ・知識グラフ：メタデータを利用し、異なるデータソースの関係性を表現する知識グラフを構築し、データの検索と統合を支援。
 - ・データ統合パイプラインの自動化：データの収集、変換、統合のプロセスを自動化し、リアルタイムデータ統合を実現。

データプロダクトの構成



出典：Zhamak Dehghani, How to Move Beyond a Monolithic Data Lake to a Distributed Data Mesh, martinFowler.com, 20 May 2019.

<https://martinfowler.com/articles/data-monolith-to-mesh.htm>.

Zhamak Dehghani, Data Mesh Principles and Logical Architecture, martinFowler.com, 03 December, 2020. <https://martinfowler.com/articles/data-mesh-principles.html>

6.次世代指揮統制システムのための技術動向

6.2 データメッシュとデータファブリックの統合によるデータ管理

データメッシュとデータファブリックの統合におけるデータパイプライン

1. データメッシュとデータファブリックの統合目的

- ・データメッシュ：各軍（陸、海、空、宇宙、サイバー）の自律的なデータ管理。
- ・データファブリック：全軍でデータを統合・共有し、リアルタイムでの状況認識を支援。

2. データパイプラインの流れ

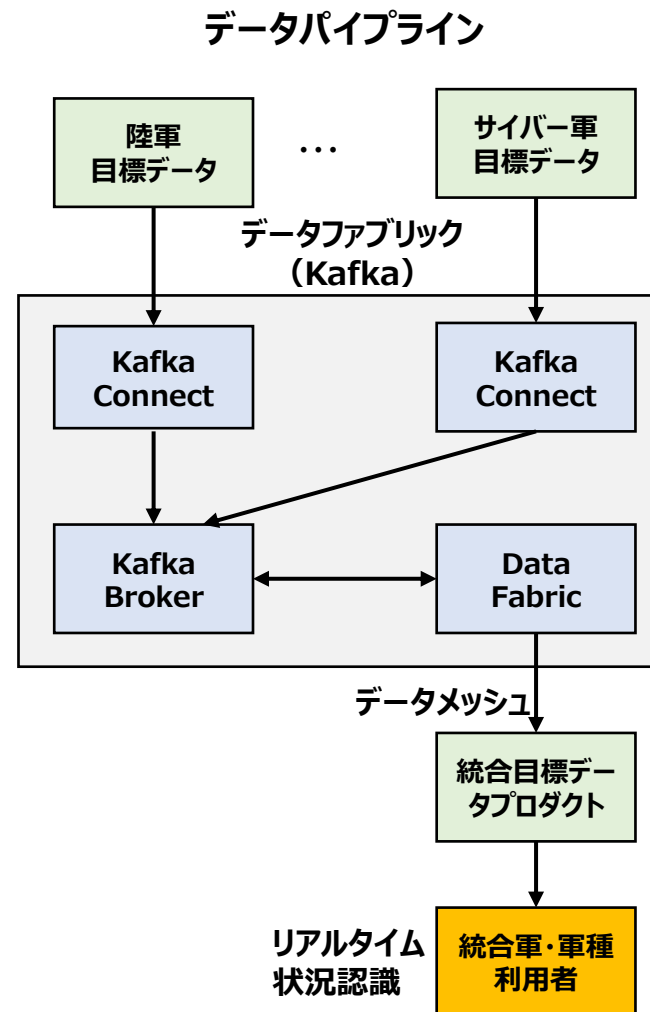
- ・データ収集：陸海空・宇宙・サイバーの各軍がKafka Connect経由でリアルタイムに目標データを送信。
- ・データ統合：Kafka Brokerがデータを集約し、Data Fabricが全軍のデータを統合。
- ・データプロダクト提供：Data Fabricは統合データを加工し、データメッシュを介してリアルタイム状況認識のデータプロダクトとして各軍へ提供。

3. データフローの役割

- ・Kafka Connect:各軍からのデータを取り込み、Kafkaのパイプラインに連携。
- ・Kafka Broker：各軍からのデータをリアルタイムで集約。
- ・Data Fabric：データを統合・加工し、データメッシュに最適化したデータプロダクトとして提供。
- ・データメッシュ：統合されたデータプロダクトを各軍の指揮統制に供給。

4. Kafkaの高速性能

- ・分散アーキテクチャ、低遅延（2ミリ秒未満）、ログベースのデータ保存、シーケンシャル書き込み、リアルタイムデータストリーミング、高スケーラビリティ



6.次世代指揮統制システムのための技術動向

6.2 データメッシュとデータファブリックの統合によるデータ管理

統合アーキテクチャ

データメッシュ、データプロダクト、データファブリックの3つの概念を統合するアーキテクチャは、データ駆動型イノベーションをスケールさせるために、それぞれの強みを活かして相互に補完し合う形で設計されている。

項目	データプロダクト	データメッシュ	データファブリック
役割	高品質で再利用可能なデータセットやダッシュボードを提供し、特定のドメインのニーズを満たす	各ドメインが自律的にデータを管理し、データ所有権を明確にし、データの利用と共有を促進	異なるデータソースを一貫した環境で統合し、メタデータを活用した知識グラフでデータの関係性を明確化
統合	データメッシュとデータファブリックから供給されるデータを使用し、標準化・再利用可能な形で提供	データファブリックのメタデータ管理と統合機能を利用し、データプロダクトとして消費されるデータを提供	データメッシュが管理する分散データをリアルタイムで統合し、消費ニーズに合わせてデータプロダクトを提供
共有	ユーザーが容易にアクセス可能な形で提供され、リアルタイムで業務ニーズに対応	各ドメイン間での双方向の共有とフィードバックをリアルタイムで提供し、指揮官が迅速に意思決定を行えるよう支援	知識グラフやデータ統合パイプラインを通じ、複数のシステムでシームレスにアクセスが可能

出典：Piethein Strengholt, Data Management at Scale: Modern Data Architecture with Data Mesh and Data Fabric, Second Edition, O'Reilly Media, 2023.

Ivo Blohm et al., Data products, data mesh, and data fabric: New paradigm(s) for data and analytics?, Springer, 05 June 2024. 110

6.次世代指揮統制システムのための技術動向

6.2 データメッシュとデータファブリックの統合によるデータ管理

統合アーキテクチャの利点

1. 効率的なデータ管理と利用

- 各ドメインが独自のデータプロダクトをセルフサービスで提供し、管理と利用の効率化を実現。

2. データの一貫性と品質の向上

- データファブリックを活用し、異なるデータソースを統合することでデータの一貫性と品質を確保。

3. 迅速な意思決定

- 高品質で即時利用可能なデータプロダクトにより、迅速な意思決定を支援。

4. データ駆動型イノベーションの促進

- データメッシュとデータファブリックによりデータの発見とアクセスが容易になり、イノベーションが促進。

5. スケーラブルなデータ管理

- 分散型のデータ管理アプローチで、組織全体のデータ管理がスケーラブルに拡張可能。

- この統合アーキテクチャにより、データの消費、提供、管理のすべてのプロセスが最適化され、全体でのデータ駆動型イノベーションが加速される。
- データメッシュ、データプロダクト、データファブリックの相互補完的な機能が統合されることで、それぞれの概念が単独で実現するよりも高い効果を発揮する。

6.次世代指揮統制システムのための技術動向

6.3 米軍におけるデータの統合と共有の動向

米国防総省のデータ戦略

DODのデータ戦略(2020年)

1. エンタープライズ全体でのデータアクセスと可用性

・目標：DoD全体で統一されたデータ基盤を構築し、すべてのレベルでデータのアクセスと利用を可能にする

2. 分散型データガバナンスとステewardシップ

・目標：各部門や役職におけるデータ管理責任を明確にし、部門ごとにデータステewardシップを促進。

3. リアルタイムでのデータ可視性と利用

・目標：DoDエンタープライズ全体でのデータ可視性を確保し、リアルタイムでデータを利用可能にすることで、迅速な意思決定を支援。

4. 戦術的エッジでのデータ利用と分析

・目標：前線でのデータ活用を促進し、エッジコンピューティングや分散型分析により迅速な対応を可能にする。

統合アーキテクチャ

データメッシュ

データファブリック

6.次世代指揮統制システムのための技術動向

6.3 米軍におけるデータの統合と共有の動向

Longbow:JADC2のデータサービス・統合層（DIL）

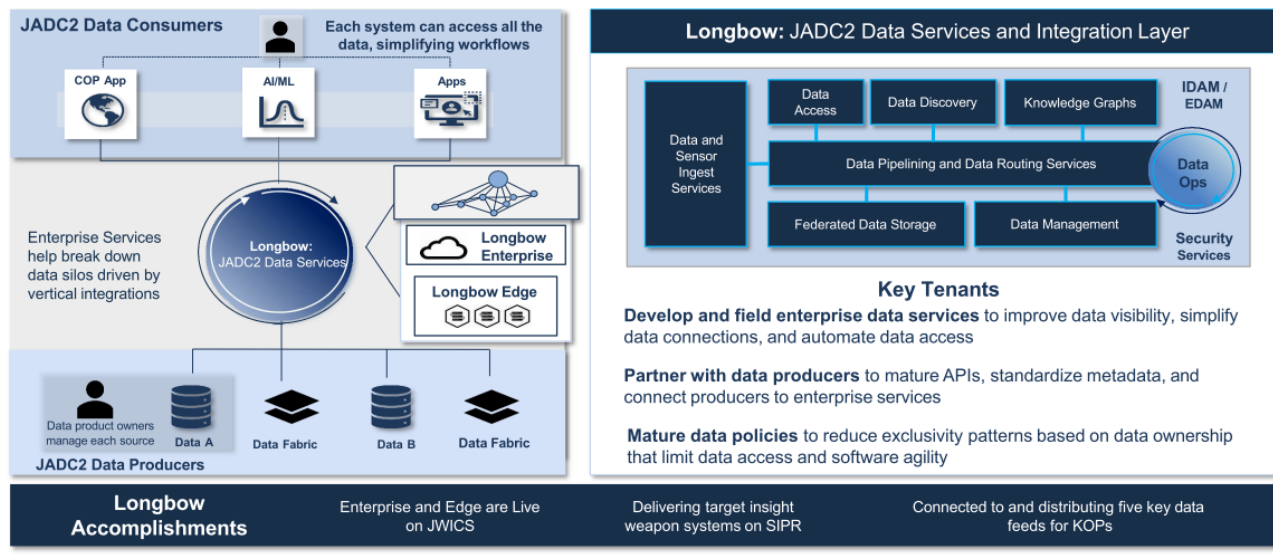
DoDのCDAOは、CJADC2のデータ管理基盤としての「Longbow」を開発・管理している。Longbowは、データファブリックとデータメッシュの概念を統合し、DoD全体のデータ統合とリアルタイム意思決定を支援するためのプラットフォームである。

UNCLASSIFIED

Longbow | Delivering JADC2 Services



The CDAO is developing **Longbow** to improve data visibility, simplify data connections, and automate data access processes.



6.次世代指揮統制システムのための技術動向

6.3 米軍におけるデータの統合と共有の動向

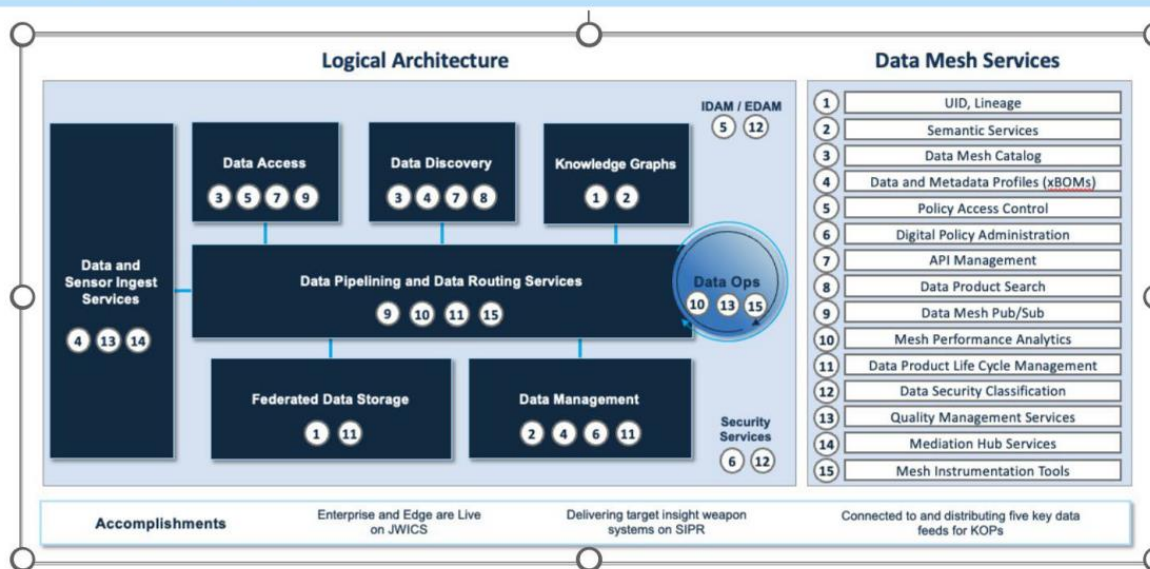
Longbow:DILのデータメッシュサービス

Longbowは、2024年3月に発表された「データメッシュ参照アーキテクチャ」(案)に基づき、データファブリックとデータメッシュの機能を統合し、15のデータメッシュサービスを定義している。
論理アーキテクチャ：データ・センサー収集サービス、データアクセス、データ発見、知識グラフ、データパイプライン・データルーティングサービス、分散連携データストレージ、データ管理、IDAM(アイデンティティ・アクセス管理)/EDAM(エンタープライズデータアクセス管理)、DataOps, セキュリティサービス。

Longbow | DIL Data Mesh Services



データメッシュサービス



- ① UID, データリネージ (データの系譜)
- ② セマンテックサービス
- ③ データメッシュカタログ
- ④ データ・メタデータプロファイル (xBOM)
- ⑤ ポリシーアクセス制御
- ⑥ デジタルポリシー管理
- ⑦ API管理
- ⑧ データプロダクト検索
- ⑨ データメッシュ Pub/Sub
- ⑩ メッシュ性能分析
- ⑪ データプロダクトライフサイクル管理
- ⑫ データセキュリティ分類
- ⑬ 品質管理サービス
- ⑭ 仲介ハブサービス(データ変換、ルーティング、プロトコルの調整)
- ⑮ メッシュ計測ツール

6.次世代指揮統制システムのための技術動向

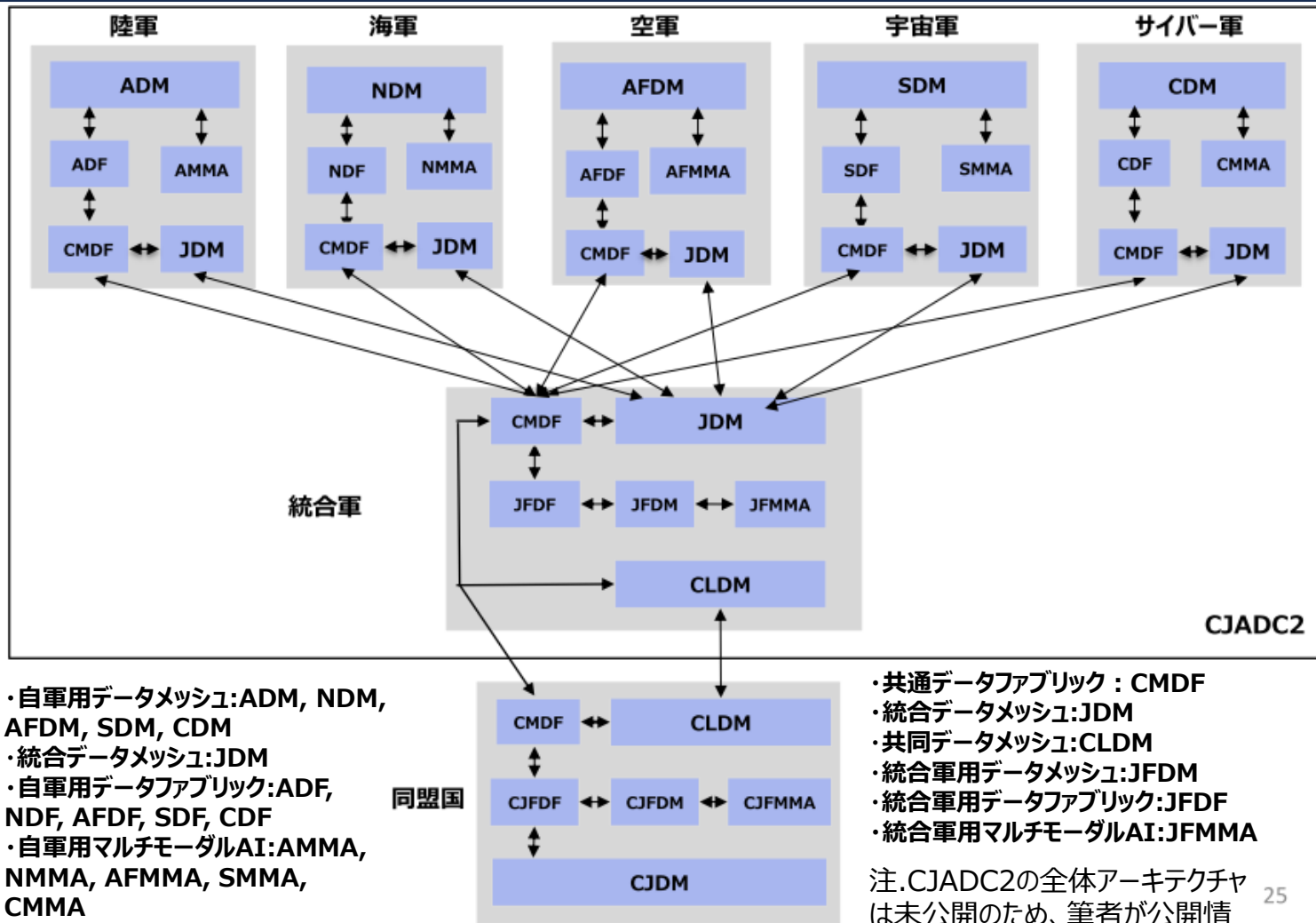
6.3 米軍におけるデータの統合と共有の動向

米国防総省のCJADC2におけるデータの統合と共有の取り組み

項目	内容
目的	全領域（陸、海、空、宇宙、サイバー）の データ統合・共有 により、 統合軍および各軍種の司令官のリアルタイムの意思決定 を支援すること。
使用技術	データメッシュ、データファブリック、マルチモーダルAI
米空軍の取り組み	ABMS（Advanced Battle Management System） ：空、陸、海、宇宙、サイバー領域からのデータを統合し、リアルタイムでの状況認識と意思決定を支援。異なるモダリティのデータを統合し、高度な分析を実現。
米海軍の取り組み	Project Overmatch ：米海軍の艦船やシステム間でのデータ共有と統合を強化。複数のセンサーからのデータを統合し、意思決定を支援。
米陸軍の取り組み	Project Convergence ：、米陸軍の部隊間でのデータの統合と共有を実現。リアルタイムでのデータ分析と意思決定を支援。
統合軍の取り組み	統合軍用のデータファブリックとデータメッシュ を用いて全軍種のデータをリアルタイムで統合し、迅速な意思決定を支援。また、同盟国とのデータ共有を強化する 共同データメッシュ を構築。
実験プログラム	GIDE（Global Information Dominance Experiment） ：全領域の情報優勢を目指し、リアルタイム情報収集と解析、新技術の試験、国際連携を実施。

6.3 米軍におけるデータの統合と共有の動向

CJADC2の全体アーキテクチャ



注.CJADC2の全体アーキテクチャは未公開のため、筆者が公開情報から独自に作成したもの。

7. 次世代指揮統制システムのあるべき姿

7.1 次世代指揮統制システムの形態

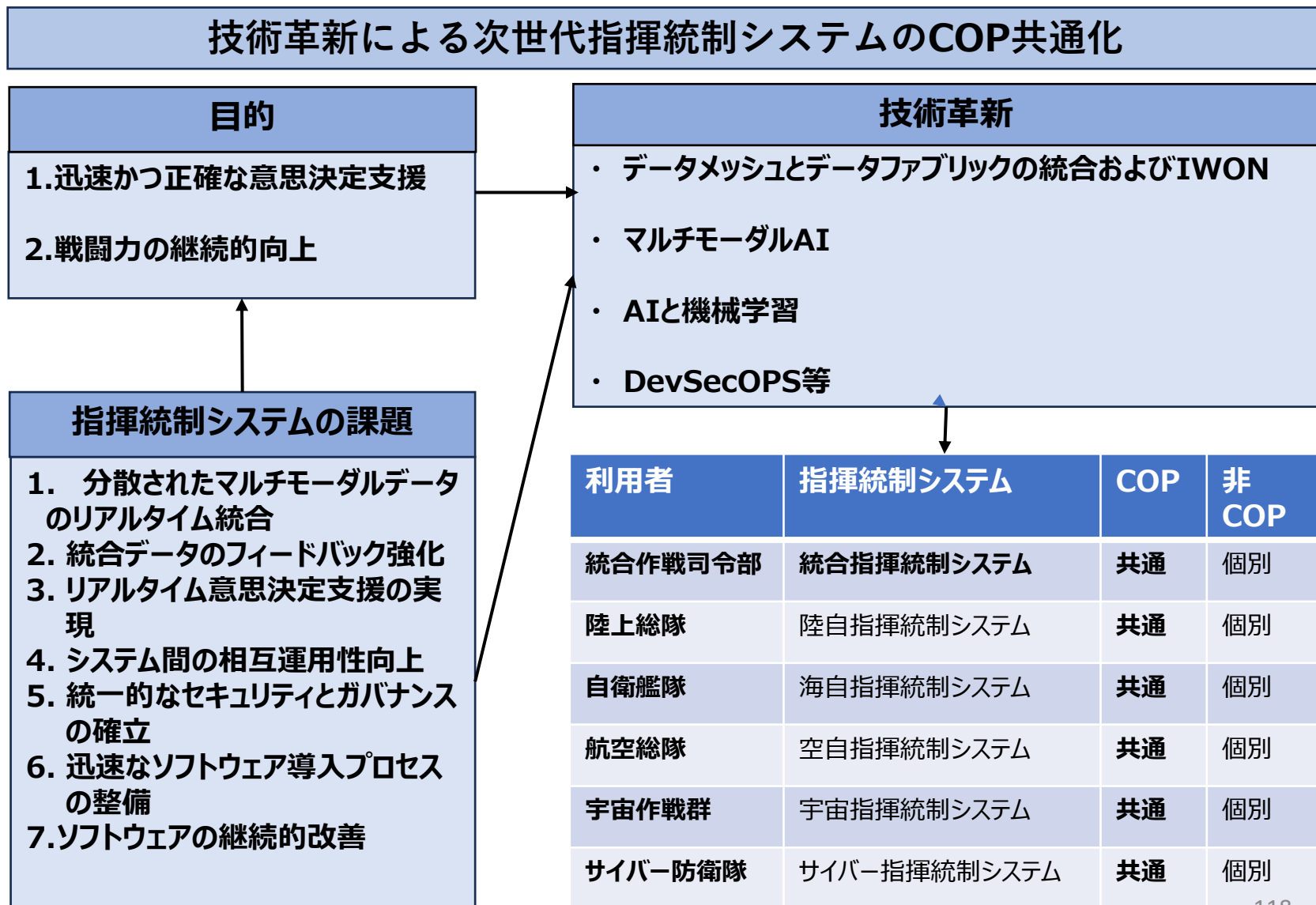
7.2 次世代統合指揮統制システムのビジョン

7.3 次世代統合指揮統制システムの運用構想

7.4 次世代統合指揮統制システムのアーキテクチャ

7.次世代指揮統制システムのあり方

7.1 次世代指揮統制システムの形態



7.次世代指揮統制システムのあるべき姿

7.2 次世代統合指揮統制システムのビジョン

ビジョン

- ・ 迅速かつ正確な意思決定を支援し、防衛と災害対応の即応力を強化。
- ・ 最新技術を駆使し、全領域のデータ統合と継続的改善を実現。

主要な目標

- 1.全領域統合状況認識**：空、陸、海、宇宙、サイバー、電磁波、認知の各領域からのデータを統合し、リアルタイムで包括的な状況認識を提供。
- 2.迅速かつ正確な意思決定支援**：マルチモーダルAIとデータメッシュ／データファブリックを活用し、高度なデータ解析と意思決定支援を実現。
- 3.セキュアなデータ管理**：ゼロトラストセキュリティ、AIセキュリティを採用し、データの機密性、完全性、可用性を確保。
- 4.継続的な技術進化と適応**：DevSecOps、DataOps、AIMLOps、GenAIOpsのアプローチを導入し、技術の継続的な進化と迅速な適応を実現。

主要構成要素

- 1.観察部**：データ収集、データ統合、異常検出、目標認識
- 2.方向付け部**：状況認識、データ分析、相関分析、目標相関
- 3.意思決定部**：意思決定支援、予測モデリング、目標予測
- 4.行動部**：行動計画策定、リアルタイム制御、目標追尾、結果フィードバック
- 5.マルチモーダルAI基盤**
- 6.データ統合基盤**：データファブリック／データメッシュ
- 7.継続的改善基盤**：DevSecOps, DataOps, AI/MLOps, GenAIOps
- 8.ハードウェア基盤**：GPU、TPU、クラウド、コンテナ、IOWN

技術的課題と対策

課題1. データのリアルタイム性と整合性の確保
解決策：双方向接続によるリアルタイム共有とパイプライン最適化

課題2. セキュリティとアクセス管理の強化
解決策：アクセス管理の統一とセキュリティレイヤーの強化

課題3. データの可搬性と柔軟なアクセスの確保
解決策：データ変換レイヤー導入と一元管理

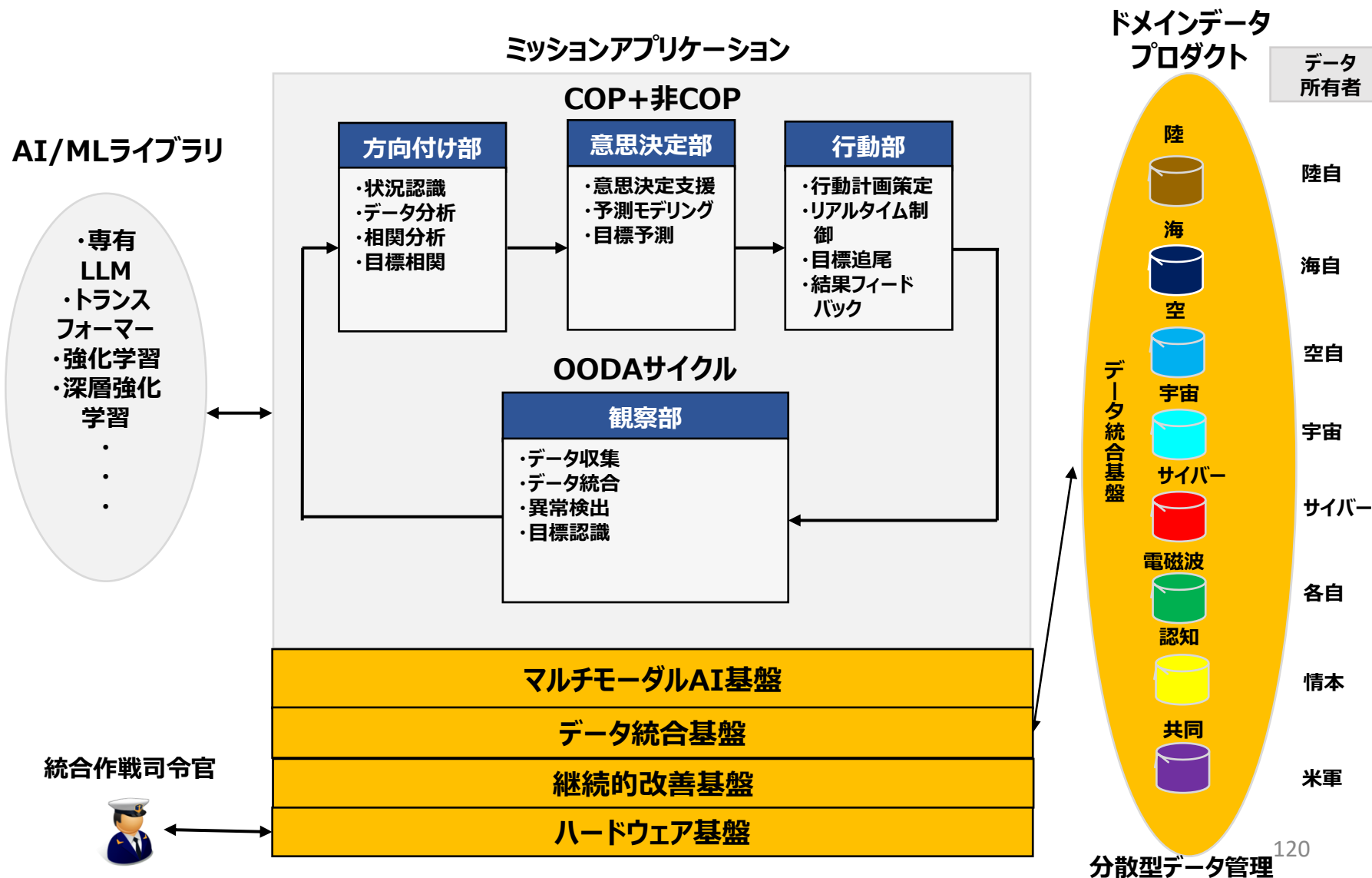
課題4：. データの大量処理とAI分析の効率化
解決策：マルチモーダルAIの活用とデータ処理負荷の分散

まとめ：これらの解決策により、リアルタイム性の確保、セキュリティ強化、柔軟なデータアクセス、効率的なデータ処理、そして拡張性を備えたシステム構築が可能。

7.次世代指揮統制システムのあるべき姿

7.3 次世代統合指揮統制システムの運用構想

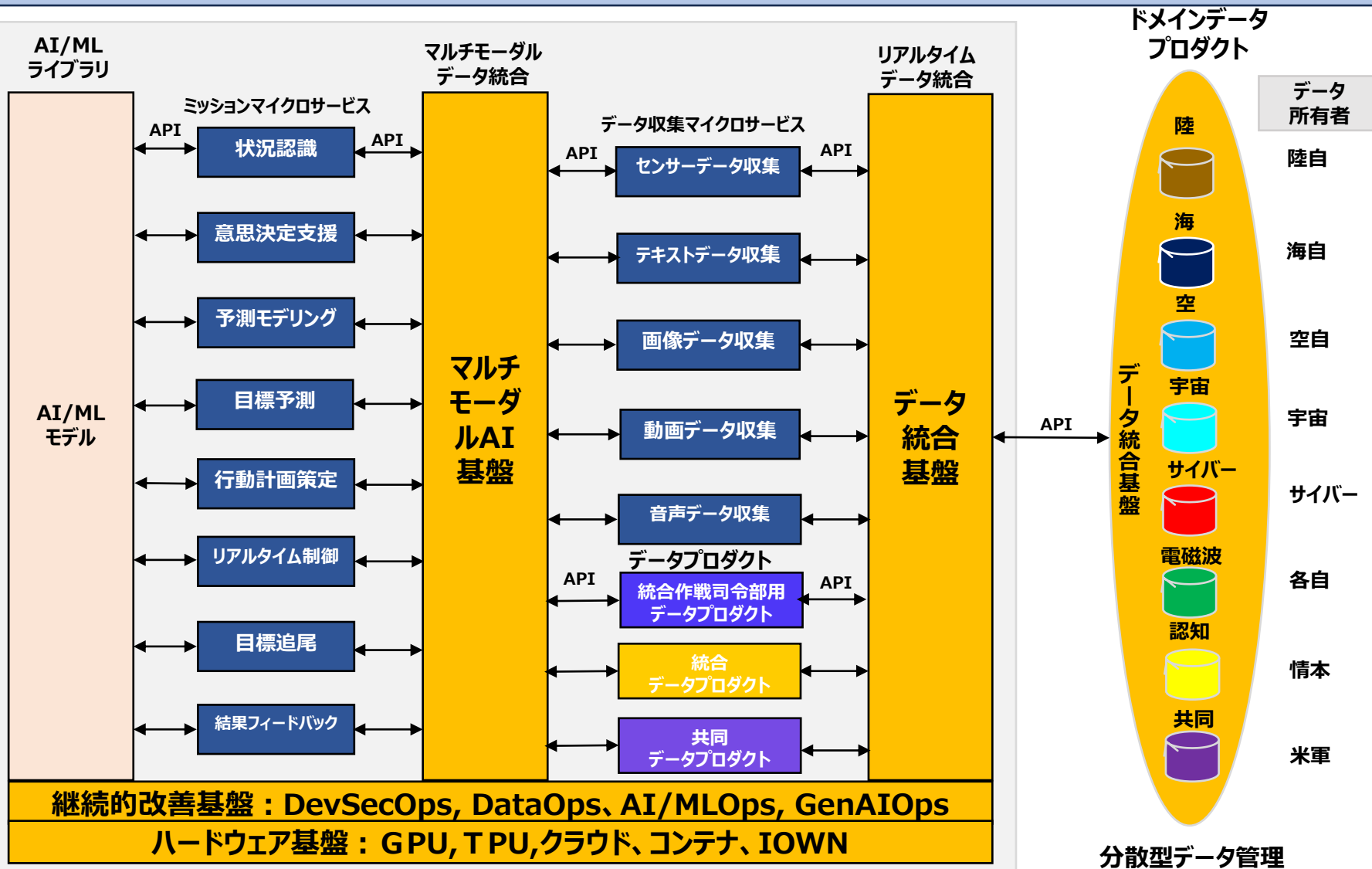
次世代統合指揮統制システムの運用構想



7.次世代指揮統制システムのあるべき姿

7.4 次世代統合指揮統制システムのアーキテクチャ

次世代統合指揮統制システムのアーキテクチャ概念

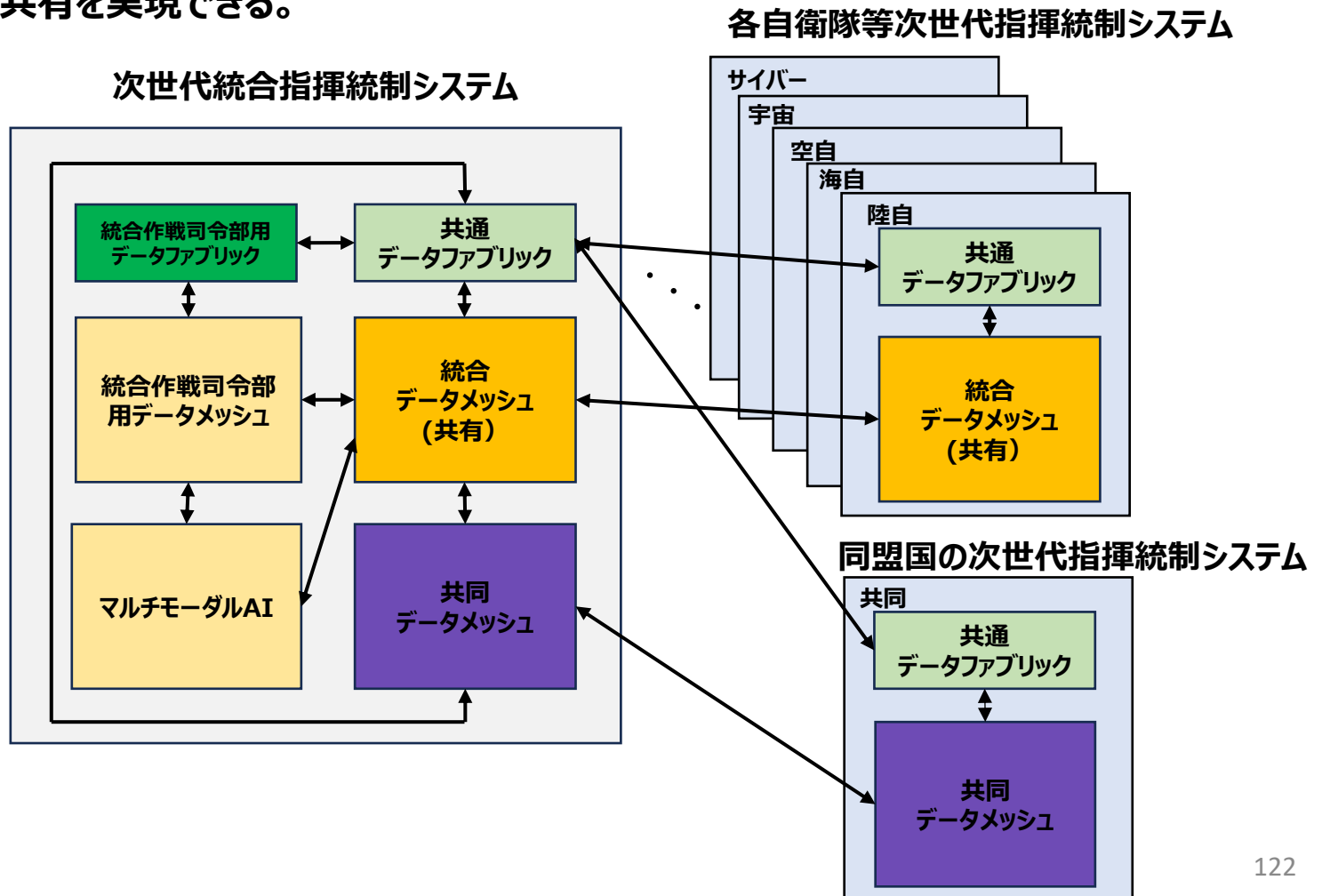


7.次世代指揮統制システムのあるべき姿

7.4 次世代統合指揮統制システムのアーキテクチャ

次世代統合指揮統制システムの全体アーキテクチャ

次世代統合指揮統制システムは、統合作戦司令部、各自衛隊等、および同盟国にアクセスの一元管理が行える**共通データファブリック**を配置し、下図のとおり**双方向の統合データメッシュ**および**共同メッシュ**を配置することによって、それぞれリアルタイムの統合COPおよび共同COPの共有を実現できる。



7.次世代指揮統制システムのあるべき姿

7.4 次世代統合指揮統制システムのアーキテクチャ

統合作戦司令部、各自衛隊等、同盟国別のデータファブリックとデータメッシュの定義

項 目	定 義
統合作戦司令部用データファブリック	<ul style="list-style-type: none"> ・ 統合作戦司令部内部のデータの可搬性とアクセス管理を統一する基盤である。 ・ 各部門やシステムが一貫したアクセスを行えるようにし、データガバナンス、セキュリティ、データ品質の統制を実現する。 ・ 統合作戦司令部内での効率的なデータ運用を支援する。
共通データファブリック	<ul style="list-style-type: none"> ・ 統合作戦司令部と各自衛隊等、同盟国が共有する基盤で、データの可搬性やアクセス制御を統一する。 ・ 各自衛隊等の統合データメッシュや同盟国との共同データメッシュに一貫したアクセスを提供する。
統合作戦司令部用データメッシュ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 統合作戦司令部内で限定的に使用される専用のデータメッシュである。 ・ 司令部が保有する特定の作戦計画や分析データなど、各自衛隊等には非公開のデータプロダクトを管理する。 ・ 統合作戦司令部内での機密性の高い情報や分析結果が含まれる。
統合データメッシュ（共有用）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 各自衛隊等が提供するセンサーデータや状況報告など、統合COPに必要な情報を集約する。 ・ 統合作戦司令部および各自衛隊等でリアルタイムにアクセス可能な情報基盤として機能し、統合COPを共有する。
同盟国との共同データメッシュ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 同盟国との安全な情報共有を目的としたデータメッシュである。 ・ 各国の提供データを共通データファブリックを通じて共有し、機密レベルに応じたアクセス制御が施される。

7.次世代指揮統制システムのあるべき姿

7.4 次世代統合指揮統制システムのアーキテクチャ

データファブリックとデータメッシュの統合の段階的アプローチ（1 / 2）

段 階	項 目	説 明
第一段階	各自衛隊等のデータソースの評価と統合準備	<ul style="list-style-type: none"> 各自衛隊等で保有するセンサーデータ、画像、音声、動画、テキストなどのデータを評価し、統合データメッシュに適したデータソースを特定する。 データ変換レイヤーを設置し、各モダリティのデータ形式を標準化して統合のための基盤を整備する。
	統合データメッシュ（共有）の構築	<ul style="list-style-type: none"> 各自衛隊等が持つセンサーデータ、画像、音声、動画、テキストをデータプロダクト化し、統合作戦司令部および各自衛隊等が共通の統合COPを通じてリアルタイムに状況認識を共有できるようにする。
	共通データファブリックと統合作戦司令部用データファブリックの基盤設置	<ul style="list-style-type: none"> 統合作戦司令部および各自衛隊等の統合データメッシュと共同データメッシュに一貫してアクセスできる共通データファブリックを導入する。 統合作戦司令部内部でのデータ管理とガバナンスを効率化するために、統合作戦司令部用データファブリックを構築する。
第二段階	マルチモーダルデータプロダクトの準備	<ul style="list-style-type: none"> 統合COPのために必要なセンサーデータ、画像、音声、動画、テキストを、各自衛隊等がデータプロダクト化し、統合作戦司令部用データメッシュまたは共有用統合データメッシュに適切に登録する。
	データパイプラインとリアルタイム統合	<ul style="list-style-type: none"> データパイプラインを構築し、各モダリティのデータをリアルタイムで統合・更新し、即時に統合COPに反映する。
	同盟国との共同データメッシュの整備	<ul style="list-style-type: none"> 同盟国データプロダクトを集約する共同データメッシュを構築し、共通データファブリックを通じて統合作戦司令部や各自衛隊等が必要に応じてアクセスできるようにする。 機密レベルに応じたアクセス制御を強化する。
	セキュリティとデータ品質管理	<ul style="list-style-type: none"> 各モダリティに対してデータ品質管理の基準を設定し、リアルタイムでのデータ整合性を確保する。 アクセス権限やセキュリティポリシーを策定し、統合COPにおいて各モダリティのデータを安全に管理する。

7.次世代指揮統制システムのあるべき姿

7.4 次世代統合指揮統制システムのアーキテクチャ

データファブリックとデータメッシュの統合の段階的アプローチ（2／2）

段 階	項 目	説 明
第三段階	マルチモーダルAIによるデータ統合処理	・ マルチモーダルAIを用いて、異なるモダリティのセンサーデータ、画像、音声、動画、テキストを統合処理し、データ間の相関関係や重要な洞察を抽出する。
	データ処理結果のデータプロダクト化	・ マルチモーダルAIによるデータ処理結果をデータプロダクト化し、統合作戦司令部用データメッシュまたは統合データメッシュに登録する。 ・ これにより、処理結果を他の自衛隊等や部門でも再利用できる。
	統合COPの一貫性維持	・ 統合COPは、マルチモーダルAIが処理した結果を統合作戦司令部と各自衛隊等が共通で参照する形とし、各自衛隊等が一貫した状況認識を共有できるようにする。 ・ AIの分析結果を反映した「重要ポイント」や「リスクエリア」を強調表示する。
	リアルタイム更新とアラート機能	・ マルチモーダルAIが継続的にデータを解析し、重要な変化や異常が検出されるとアラートを発信し、迅速な対応を支援する。
	カスタマイズビュー機能	・ 指揮官やオペレーターが特定のモダリティ（センサーデータ、画像、音声、動画、テキストなど）にフォーカスできるカスタマイズされたビューを提供する。
第四段階	運用テストとデータ評価	・ 共同訓練やシミュレーションを通じて、共通データファブリックと統合データメッシュの統合運用におけるデータ統合の精度やリアルタイム性、マルチモーダルAIによる解析結果の実用性を評価する。
	指揮官およびオペレーターの訓練	・ 統合COP上でのマルチモーダルAIによるデータ統合結果やアラート機能の解釈方法、操作方法を訓練し、データの関連性や重要ポイントの把握がスムーズに行えるようにする。
	セキュリティ強化とガバナンス改善	・ データガバナンスとセキュリティポリシーの運用状況を評価し、機密レベルに応じたアクセス制御や、リアルタイムのデータ共有におけるセキュリティ基準を見直す。

7.次世代指揮統制システムのあるべき姿

7.4 次世代統合指揮統制システムのアーキテクチャ

次世代統合指揮統制システム実現に向けた技術的課題と解決策

課 題	解決策	具体内容
1. データのリアルタイム性と整合性の確保 頻繁なデータ更新により同期と整合性の維持が難しい。	双方向接続によるリアルタイム共有とパイプライン最適化	<ul style="list-style-type: none"> 共通データファブリックと統合データメッシュを双方向接続し、リアルタイムでデータを相互更新。 データ更新頻度に応じて「ストリーミング処理」と「バッチ処理」の複数パイプラインを設定し、システム負荷を分散。
2. セキュリティとアクセス管理の強化 共有の拡大でセキュリティリスクが増大する。	アクセス管理の統一とセキュリティレイヤーの強化	<ul style="list-style-type: none"> 共通データファブリック上で統一ポリシーによるアクセス権限管理を実装。 各データメッシュ内でデータ機密性に応じた階層別アクセス制御を導入。 同盟国共有用に専用「ゲートウェイ」や「サンドボックス環境」を設置。
3. データの可搬性と柔軟なアクセスの確保 異なるシステム間でデータ共有が難しい。	データ変換レイヤー導入と一元管理	<ul style="list-style-type: none"> 標準化された「スキーママッピング」や「APIゲートウェイ」を活用し、異なるデータ形式の変換を効率化。 オンデマンド変換プロセスによりデータ整合性とリアルタイム性の両立を図る。 共通データファブリックでデータ移動を一元管理。
4. データの大量処理とAI分析の効率化 データ処理速度とリアルタイム性が求められる。	マルチモーダルAIの活用とデータ処理負荷の分散	<ul style="list-style-type: none"> マルチモーダルAIとデータプロダクトの連携強化で、AI分析結果を即座にデータメッシュへ反映。 AI専用プロセッシングクラスタで分散処理を行い、パイプライン負荷を分散。 エッジコンピューティングで即応性向上。
5. システムの拡張性と適応性の確保 システムの拡張と変化への対応が必要。	モジュール化設計と段階的運用テスト	<ul style="list-style-type: none"> モジュール化されたデータファブリックとデータメッシュで柔軟な機能追加が可能。 インターフェースをオープンスタンダードに基づき設計し、他システムと連携しやすくする。 シミュレーションテストで影響範囲を検証。

8.まとめ

軍用AIと次世代指揮統制システムの進展は、現代の戦場における**迅速な意思決定と情報優位性**を提供し、軍事作戦において大きな革新をもたらしている。

本講演で取り上げたように、AI技術の進化は単なるデータの解析を超え、複雑な状況下での**意思決定支援、サイバー防御、さらに自律型兵器によるリスク低減**など、軍事作戦に多角的な効果を発揮している。特に、CJADC2をはじめとする**全領域の指揮統制システム**の取り組みは、各国が高度な情報戦や電子戦に対抗し、**リアルタイムでのデータ統合と共有および意思決定支援**を目指している。

日本の次世代指揮統制システムにおいても、**データメッシュとデータファブリックの統合、マルチモーダルAI、DevSecOps、IWON（APN）**などの最新技術を活用し、敵対的脅威に対抗するためのシステム構築が急務である。

AIがもたらす新たな可能性と課題を的確に捉え、安全性と倫理面での配慮を兼ね備えた**「責任あるAI」**に基づくシステム設計が今後求められる。これにより、軍事的リスクを最小限に抑えつつ、**AI技術を駆使した防衛力の最適化**が実現されるであろう。

講演者略歴

木村 初夫（きむら はつお）

1953年、福井県生まれ。1975年金沢大学工学部電子工学科卒。現在、株式会社エヌ・エス・アール上級研究員、株式会社NTTデータアドバイザー。1975年日本電信電話公社入社、航空管制、宇宙、空港、核物質防護、危機管理、および安全保障分野の調査研究、システム企画、開発担当、株式会社NTTデータのナショナルセキュリティ事業部開発部長、株式会社NTTデータ・アイの推進部長、株式会社エヌ・エス・アール代表取締役歴任。共訳書に『中国の進化する軍事戦略』、『中国の情報化戦争』、『中国の海洋強国戦略』（以上原書房）、『知能化戦争』（解説を執筆）、『ロシアの情報兵器としての反射統制の理論』、『AI海戦』（以上五月書房新社）がある。訳書に、『マスキロフカ』、『電磁波戦』（以上五月書房新社）がある、主な論文に「A2/AD環境下におけるサイバー空間の攻撃および防御技術の動向」、「A2/AD環境におけるサイバー電磁戦の最新動向」（月刊JADI）等がある。
メールアドレス：kimurahto@e-nsr.com

