

令和 7 年度経済安全保障に関する 国内外の重要技術動向等に係る調査研究

調査研究報告書

2026年3月

株式会社NTTデータ経営研究所

目 次

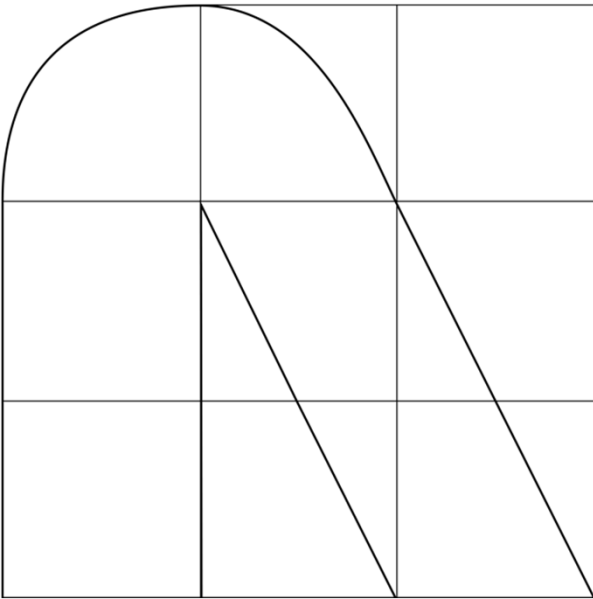
1. 調査概要
 1. 調査の背景と目的
 2. 調査方針
 3. 調査対象とする技術領域
2. 各技術領域における検討
 1. 災害・医療用ロボット技術
 2. 大規模電源技術（蓄電・発電）
 3. 本人確認・認証システム
 4. ドローン検知・対処技術
 5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）

1. ■ 調査概要

1-1. 調査の背景と目的

1-2. 調査方針

1-3. 調査対象とする技術領域



1-1. 調査の背景と目的

- 各国において経済安全保障の確保に関する各種政策、特に先端的な重要技術の研究開発の促進やその成果の活用に向けて鎬を削っているところ、中・長期的に我が国が国際社会で確固たる地位を確保し続けるためには、諸外国における取組状況に係る情報を更新し続けるとともに、こと研究開発においては日進月歩で進展・変化の早い先端技術分野に係る開発動向を適時把握することが肝要である。
- このような国内外の動向を明らかにすることにより、「経済施策を一体的に講ずることによる安全保障の確保の推進に関する法律」（令和4年法律第43号）に基づく特定重要技術の開発支援等を効果的に推進するための検討を行うことを目的として、本調査研究を行うこととする。
- 調査目的を達成するため、経済安全保障の観点から重要となる技術領域を設定し、国内外における先端的な重要技術の研究開発動向について調査・分析し、主要な研究主体や新興技術の萌芽について抽出・整理して比較・評価を行う。

1-2. 調査方針

- ・ 本調査では、ユースケースの整理・評価及び国内外動向調査を行った。

調査検討フロー

ステップ	実施内容
1. ユースケースの整理・評価	・ 国内外動向調査（ステップ2）と並行して、各領域における安保上の課題に対応する「ユースケース」を整理・評価する。これにより、わが国が保持・獲得すべき技術領域の方向性を整理する。
2. 国内外動向調査（技術開発・社会実装環境）	・ ユースケースの整理（ステップ1）と並行して、主要国および日本における「政策動向、技術到達点（スペック）、ロードマップ、研究開発体制」を調査する。併せて、「国際標準化、規制・法制度、政府調達の実態」等の社会実装環境を把握する。

1-3. 調査対象とする技術領域

- 本調査では、対象とする重要技術領域として下表の5つを設定し、この枠組みに基づいて各領域のユースケース分析、国内外の技術動向整理を行った。

調査対象技術領域

技術領域	背景	調査方針
災害・医療用ロボット技術	災害時・有事での人命救助、インフラ保守、情報収集などの用途	用途別（探索、搬送、操作等）、稼働環境別（陸上、水中、空中）、AI搭載可否などで分類し、幅広く調査
大規模電源技術（蓄電・発電）	有事や災害時の可搬電源需要に対応。蓄電池（大型・移動型）および発電機（高出力型）の両面を含む	技術種類（リチウムイオン、全固体電池、燃料電池、ガスタービン等）、供給能力、可搬性、安全性などを軸に分類
本人確認・認証システム	デジタル本人確認におけるセキュリティとデータ主権の観点から課題。特にデータが海外クラウドに送られることへの懸念	認証技術（生体認証、多要素認証、電子署名等）とともに、データ処理・保管の仕組み（オンプレ、クラウド、ゼロトラスト等）に焦点
ドローン検知・対処技術	テロ・偵察・密輸など多様な脅威への対応技術	各国の対応事例・規制も踏まえつつ、センサー技術、電波妨害、捕獲機構などに分類し、技術比較とユースケース整理を実施
高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）	国内で高エネルギー系の合成・分析技術を持つ人材が限られており、安全保障リスクに直結	特に量子化学等の研究テーマを抽出

2. 各技術領域における検討

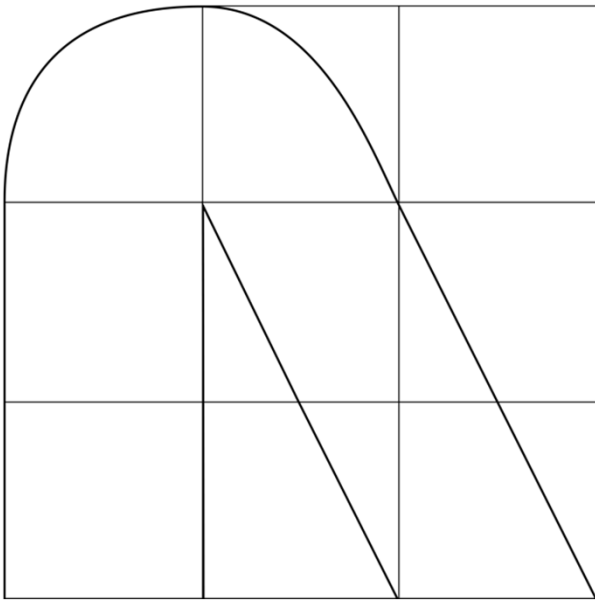
2-1. 災害・医療用ロボット技術

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-3. 本人確認・認証システム

2-4. ドローン検知・対処技術

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）



2. 各技術領域における検討

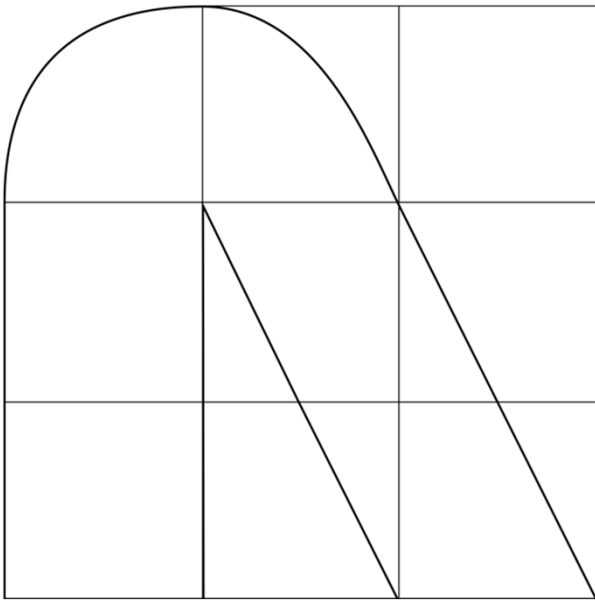
2-1. 災害・医療用ロボット技術

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-3. 本人確認・認証システム

2-4. ドローン検知・対処技術

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）



2-1. 災害・医療用ロボット技術

2A-1-1-1. ユースケースの整理

災害用ロボットについて、「災害発生直後」のユースケースを中心に以下の通り整理した。

分類	機能	ユースケース
1. 地震	被害状況探索	被災地における倒壊建物数や火災発生状況等の被害状況探索
	生存者探索/救助	瓦礫内部の生存者探索/救助
	瓦礫撤去	倒壊した建物や路上の瓦礫を撤去
	物資運搬	救援物資を被災者へ運搬
2. 風水害	被害状況探索	浸水範囲、堤防決壊状況等の被害状況探索
	生存者探索/救助	水浸家屋、車両の生存者探索/救助
	瓦礫撤去	浸水・倒壊した建物等の瓦礫を撤去
	物資運搬	救援物資を被災者へ運搬
3. 斜面災害	被害状況探索	斜面災害発生範囲等の被害状況探索
	生存者探索/救助	土砂内の生存者探索/救助
	土砂撤去	土砂災害現場にて土砂を撤去
	リスク検知	2次被害リスクの検知（土砂災害等再発生の危険性検知）
4. 火山災害	被害状況探索	被害状況探索
	生存者探索/救助	火砕流発生エリア等での生存者探索・救助
	モニタリング	火口付近でのモニタリング（火山ガス測定、地熱・地殻変動観測）
5. 雪氷災害	被害状況探索	積雪状況の把握（積雪密度等の測定）
	生存者探索/救助	雪内の生存者探索/救助
	除雪	硬い雪層の掘削・撤去
6. CBRNE	検知・マッピング	有害物質の検知・マッピング
	採取・測定	有害物質のサンプル採取・測定
	無害化・除去	有害物質/爆発物の無害化・除去（例：爆発物処理）

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2A-1-1-2. ユースケースの評価

各ユースケースを優先度、影響度の観点で評価した。赤枠で示している3つのユースケースを念頭に、生存者探索/救助（テーマ①）、有害物質検知・マッピング（テーマ②）について技術調査を行った。

※評価軸の定義については次頁参照

分類	ユースケース		優先度		影響度 (ロボット代替による即効性)
			災害リスク	ロボットによる代替必要性	
1. 地震	被害状況探索	被災地における倒壊建物数や火災発生状況等の被害状況探索	中	中	中
	生存者探索/救助	瓦礫内部の生存者探索/救助	中	高	高
	瓦礫撤去	倒壊した建物や路上の瓦礫を撤去	中	低	低
	物資運搬	救援物資を被災者へ運搬	中	低	中
2. 風水害	被害状況探索	浸水範囲、堤防決壊状況等の被害状況探索	高	中	中
	生存者探索/救助	水浸家屋、車両の生存者探索/救助	高	高	高
	瓦礫撤去	浸水・倒壊した建物等の瓦礫を撤去	高	低	低
	物資運搬	救援物資を被災者へ運搬	高	低	低
3. 斜面災害	被害状況探索	斜面災害発生範囲等の被害状況探索	高	中	中
	生存者探索/救助	土砂内の生存者探索/救助	高	高	高
	土砂撤去	土砂災害現場にて土砂を撤去	高	中	中
	リスク検知	2次被害リスクの検知（土砂災害等再発生の危険性検知）	高	低	低
4. 火山災害	被害状況探索	被害状況探索	中	高	中
	生存者探索/救助	火砕流発生エリア等での生存者探索・救助	中	高	高
	モニタリング	火口付近でのモニタリング（火山ガス測定、地熱・地殻変動観測）	中	中	中
5. 雪氷災害	被害状況探索	積雪状況の把握（積雪密度等の測定）	中	中	中
	生存者探索/救助	雪内の生存者探索/救助	中	高	高
	除雪	硬い雪層の掘削・撤去	中	中	低
6. CBRNE	検知・マッピング	有害物質の検知・マッピング	高	高	高
	採取・測定	有害物質のサンプル採取・測定	高	中	中
	無害化・除去	有害物質/爆発物の無害化・除去（例：爆発物処理）	高	中	中

テーマ①：
ロボットによる生存者
探索/救助

テーマ②：
ロボットによる有害物
質検知・マッピング

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2A-1-1-3. 優先度・影響度評価の定義

優先度（災害発生リスク）

区分	定義	主な判断基準
高 (High)	地球温暖化等による激甚化リスクや、政治情勢等による発生リスクが近年高まっている	- 地球温暖化や政治情勢等により、激甚化リスクや発生事例が増えている - 地球温暖化や政治情勢等を踏まえ、災害対応の社会的要請が増している
中 (Medium)	激甚化や発生リスクが近年高まっているわけではないが、以前から発生リスク等が高い	- 地球温暖化の進行等に関わらず、以前から日本の地質学的特性上、発生リスクが高い - 以前から災害対応の社会的要請が高い
低 (Low)	以前から発生リスクが低い	- 以前から日本の地質学的特性上、発生リスクが相対的に低い - 以前から災害対応の社会的要請が相対的に低い

優先度（ロボットによる代替必要性）

区分	定義	主な判断基準
高 (High)	人命に関わる高危険環境での作業が必要であり、ロボットによる代替必要性が高い	- 安全が確保されておらず、人命リスクがある環境下での作業等が必要 - 作業遅延が後続の災害対応（救助活動等）の遂行においてリスクとなる
中 (Medium)	人手でも対応可能だが、高リスク・高負荷でロボット導入が望ましい	- 一定程度安全性が確保されているが、高リスク・高負荷でロボット導入が望ましい - 作業遅延が後続の災害対応（救助活動等）遂行にもたらすリスクが高くない
低 (Low)	人手でも安全に対応可能	- 安全性が確保されており、人で作業によるリスクや負荷も低い - 作業遅延による、後続の災害対応遂行へのリスクも低い

影響度（ロボット代替による即効性）

区分	定義	主な判断基準
高 (High)	ロボット代替による人命リスク低減効果が高い	ロボット代替による消防・救助要員、被災者双方の人命リスク低減が期待できる
中 (Medium)	ロボット代替による人命リスク低減効果が一定程度認められる	ロボット代替による消防・救助要員、被災者いずれかの人命リスク低減効果が大きい
低 (Low)	ロボット代替による人命リスク低減効果が低い	ロボット代替による消防・救助要員、被災者の人命リスク低減効果が相対的に低い

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2A-1-2-2-1. 海外の動向 国別の取組み／戦略文書（米国）

米国において、災害ロボット技術に関する研究開発の方向性や設計思想を規定している主な戦略文書について整理した。国家として災害ロボット技術をどのような位置づけで捉え、どのような技術的方向性を志向しているかに着目した。

文書名	主体	位置付け・主旨	研究開発の方向性（要点）
FEMA Strategic Foresight 2050	FEMA	2050年を見据え、災害対応を「政府単独の対応」から社会全体のレジリエンス編成へ転換するための戦略的フォーサイト文書	災害の常態化と人材不足を前提に、災害ロボットは人間の能力を補完・拡張する存在として位置付けられる。高リスク環境での遠隔調査や状況把握を中核用途とし、完全自律ではなく人間中心の意思決定支援型運用を重視。
DHS Strategic Plan FY2023–2027	DHS（FEMA / CISA / CWMD / S&T 等）	国土安全保障をテロ・国境だけでなく、災害・公衆衛生・重要インフラ・CBRN脅威を含む統合安全保障として整理する中期戦略	ロボティクスはAI等と並ぶ新興技術として、災害対応やCBRNE対策に不可欠な基盤技術と位置付けられる。人が立ち入れない環境での検知・調査・初動対応能力の向上を目的に研究開発を進める一方、サイバーリスクや悪用への対策を前提とした設計を重視。
A Roadmap for US Robotics 2024	学術機関（UCSD等）	米国におけるロボティクス研究・社会実装の国家戦略ロードマップ。AIとの統合や社会インフラ・産業・労働力への影響と、ロボット技術が今後10–15年で社会全般に不可欠となることを示し、政府・産学・産業の協調と研究方向性を提言	AIとロボティクスの高度な統合を前提に、ロボットは人間の判断と行動を補完・拡張する基盤技術として位置付け。複雑かつ過酷な環境における知覚・制御・意思決定能力の向上を中核とし、災害対応など高リスク領域での遠隔作業や状況把握への応用を想定。完全自律に偏らず、安全性・信頼性・倫理を組み込んだ人間中心の協調運用と、官民連携による社会実装の加速を重視。

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2A-1-2-2-2. 海外の動向 国別の取組み／政策・施策（米国）

米国における災害ロボット技術に関する主な政策・施策を下表に整理した。

ここでは、研究開発の成果が標準化、調達要件、運用ルール等を通じてどのように具体化してきたかに着目し、制度や運用として現れている状況に着目した。

区分	内容
① 戦略文書・ロードマップ（中長期の方向性）	• FEMA Strategic Foresight 2050：災害の常態化と人材不足を前提に、災害対応分野でロボティクス活用が不可欠となる将来像を提示し、危険環境下での状況把握・搜索救助・初動対応におけるロボットの有用性と、人間中心の意思決定支援型運用の重要性を指摘。 • DHS Strategic Plan FY2023–2027：災害対応およびCBRNE対策を含む国土安全保障の中核技術としてロボティクスを位置付け、遠隔検知・調査・対応を可能にする基盤技術としての活用と、サイバーリスクを考慮した安全・信頼性重視の研究開発と実装を重視。 • A Roadmap for US Robotics 2024：災害対応・公共安全分野をロボティクス活用が進む主要領域の一つとして示し、特に危険環境下での人命救助・調査・点検へのロボットの有用性を指摘。
② 標準化・規制スケジュール（優先度が表れる場所）	• Emergency Response Robots Program (NIST)：災害対応ロボットの性能評価試験・基準を策定し、瓦礫、低視界、粉塵等の災害環境における移動・操作能力を評価する枠組みを整備。 • Guide for Evaluating, Purchasing, and Training with Response Robots (NIST)：災害対応ロボットの能力評価枠組みを規定。
③ 公的R&Dプログラム（投資＝将来課題の“優先投票”）	• DARPA：GPS利用が困難で瓦礫等が散乱している地下・閉鎖空間等における自立探索・マッピング・人命探索等の賞金競技型プログラムを実施。優勝チームへの報奨金に加え、一部参加チームとは資金助成契約も締結。 • NASA：惑星探査用ロボット開発技術を災害ロボットへ応用。例）火災現場等での有害物質検知、瓦礫移動
④ 議会・審議・白書など	• 災害用ロボットに限らず、ロボティクス全般に係る政策に関する検討フォーラムは国会議員間で開催。
⑤ 調達・義務化動向	• FEMA Authorized Equipment List (FEMA)：州政府や自治体が連邦補助金を活用し、調達可能なロボット等をリスト化。 • Guidance for Using Standards When Selecting and Purchasing Responder Equipment (NUSTL)：警察・消防等の公的機関が調達を行う際の標準試験方法等を記載。

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2A-1-2-2-3. 海外の動向 対象テーマの領域における主な研究論文（米国）

①～②の各テーマを代表する研究論文を下表に整理した。各論文が示す技術的貢献と、実用化に向けて指摘されている主な課題を整理することで、今後の研究開発や制度・実装との接続を検討する際の基礎情報とする。

関連技術	論文名	国／機関	概要	実用化課題
①生存者探索/救助	A Robust UAV-UGV Collaborative Framework for Persistent Surveillance in Disaster Management Applications	米国／University of Illinois Chicago、DEVCOM Army Research Laboratory (ARL)	被災地の継続監視を想定し、UAVの航続制約をUGV（移動充電拠点）で補いながら、複数UAV/UGVの巡回・再充電を含む協調ルーティングを最適化して「途切れない状況把握」を狙う枠組みを検証。	- 通信断・帯域制約下でも協調が維持できる再計画アルゴリズムの頑健化 - 災害により地形・通行条件が変化する場合での動的タスク再割当 - UGVによるUAV充電・支援運用の実装コスト・信頼性、など
	IoT-Enabled Autonomous System Collaboration for Disaster-Area Management	米国／North Carolina A&T State University (NCA&T)	災害エリア管理を想定し、UAV/UGVを含む自律システム群の協調（タスク割当・連携）を、IoT/ネットワーク基盤と組み合わせる研究。災害現場での異種ロボット連携を“システムとして”成立させる観点（連携・評価・実装）を提示。	- 現場ネットワークの不安定性（帯域・遅延・途絶）下での品質保証 - サイバー耐性 - 機体差・センサ差を吸収する相互運用性、など
②有害物質の検知・マッピング	3-D Radiation Mapping in Real-Time with the Localization and Mapping Platform LAMP from Unmanned Aerial Systems and Man-Portable Configurations	米国／Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL)・UC Berkeley 等	UAV（または携行）に放射線検出器＋3Dシーン情報を統合し、Scene Data Fusionと3D再構成（MLEM）で、現場でリアルタイムに放射線分布を3次元マッピングして可視化する枠組みを提示。緊急対応・国土安全保障用途を明確に想定。	都市部・屋内外・多層構造物での精度と頑健性、飛行（航法）誤差や遮蔽影響の低減、通信断時の運用、現場導入の手順標準化・訓練
	【記事】Army researchers work to enable chemical threat scanning on the fly	米国/米国陸軍	米陸軍は、AI搭載ハイパースペクトル分光器「HyperThreAD」をUAV/UGVに実装し、化学・生物汚染を移動中にリアルタイム検知する技術を開発中。GPU統合とデータ圧縮により即時3Dマッピングを実現し、現場即応型CBRNEスキャンを目指す。	開発では以下に取り組んでいる： - GPU組み込みによるリアルタイム演算 - データ圧縮アルゴリズムの開発による計算負荷削減 - AI/MLとの統合機械学習によりノイズ除去・異常判定・三次元プロット生成の最適化

- ①生存者探索/救助：米国では、災害現場で通信断や地形変化下でも、UAVとUGVが役割分担し継続的に状況把握する協調制御技術の確立がテーマとなっている。
- ②有害物質検知・マッピング：UAV／UGVに搭載したセンサとAI解析により、有害物質をリアルタイムに三次元可視化する即応型技術の高度化が研究されている。

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2A-1-2-2-4. 海外の動向 国別の取り組み／研究開発の担い手と役割（米国）

米国における災害ロボット技術関連の研究開発について、研究を担う中核的な組織の役割と分担構造に着目して整理し、各組織が担う研究の性格（基礎理論・評価・実証・実装支援）を明確化した。

組織区分	中核組織	主な役割	代表的な研究・プログラム例	主に生み出される研究成果
標準・評価機関	NIST	災害対応ロボットの性能評価・試験・標準化	Emergency Response Robots Program ASTM/NIST連携試験	評価指標、試験プロトコル、ベンチマーク
防衛・先端研究機関	米国陸軍	CBRNE・有害環境下での検知・認識技術高度化	HyperThreatAD 等（化学物質リアルタイム検知）	センサ融合技術、リアルタイム処理技術
学術研究機関	大学	災害現場を想定した基礎～応用研究	UAV-UGV協調監視IoT連携自律システム	協調連携システム等の関連技術
調達要件策定機関	FEMA	州・自治体向け調達可能装備リスト化	FEMA Authorized Equipment List	装備リスト
	NUSTL	調達時の標準試験方法を策定	Guidance for Using Standards When Selecting and Purchasing Responder Equipment	標準試験方法
連邦助成機関	DARPA	関連研究への助成支援	Subterranean (SubT) Challenge	長期研究

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2A-1-2-3-1. 海外の動向 国別の取組み／戦略文書（EU）

EUにおいて、災害ロボット技術に関する研究開発の方向性や設計思想を規定している主な戦略文書について整理した。国家として災害ロボット技術をどのような位置づけで捉え、どのような技術的方向性を志向しているかに着目した。

文書名	主体	位置付け・主旨	研究開発の方向性（要点）
COMMISSION RECOMMENDATION of 8 February 2023 on Union disaster resilience goals	European Union	EU全体として災害（自然災害・人為災害・複合災害）への対応力を高めるため、2030年を視野に入れた「災害レジリエンス目標」を示す勧告文書	災害の常態化と人材不足を前提に、危険環境での状況把握や初動対応を支える技術開発を重視。災害ロボットを人間の判断を補完する能力拡張手段として捉え、相互運用性や標準化を意識したEU域内での共同運用・迅速展開を可能にする技術基盤の構築を重要視している。

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2A-1-2-3-2. 海外の動向 国別の取組み／政策・施策（EU）

EUにおける災害ロボット技術に関する主な政策・施策を下表に整理した。

ここでは、研究開発の成果が標準化、調達要件、運用ルール等を通じてどのように具体化してきたかに着目し、制度や運用として現れている状況に着目した。

区分	内容
① 戦略文書・ロードマップ（中長期の方向性）	• Strategic Research, Innovation, and Deployment Agenda (Adra) : 次世代ロボティクスシステム開発を重点課題として位置づけ、ロボットの自律性向上の必要性等を指摘（災害ロボットに直接触れているわけではない）。 • Strategic Research Agenda - SRA 2024 (euROBIN) : AI×ロボティクスの開発方向性を規定。災害ロボットを直接テーマにはしていないものの、ユースケースとして探索救助や自然・人為的災害時の人道的対応等を想定し、今後の技術課題として複雑・予測不能な環境下での自律性向上や郡ロボットによる協調、HRI（言語・ジェスチャーでの支持）等を挙げている。
② 標準化・規制スケジュール（優先度が表れる場所）	• CWA 17947:2022 (USaR装備フィールドテスト指針) (CEN/CENELEC) : 瓦礫下要救助者検知のためのUSaR機器（ミニロボ・UAV等）に対し、試験目的／必須要件／試験環境／手順を規定。 • AI Act : ロボットに組み込むAIが高リスクに該当する場合は品質管理・データ・透明性要件を満たす必要有り。
③ 公的R&Dプログラム（投資＝将来課題の“優先投票”）	• Horizon 2020 : 遠隔操作ロボット等の開発による瓦礫下探索の迅速化・安全性向上を実現。 • Horizon Europe (Work Programme 2025) : 「高リスク災害対応のための自律システムとロボティクスの高度化」を重要開発課題として記載。「危険環境」として、火災により煙が充満した環境等を想定。
④ 議会・審議・白書など	• 欧州委員会・Civil Protection Mechanism : 欧州議会での質疑応答や委員会報告の中で、災害対応における無人システム・ロボティクスの利用可能性について議論。例：山火事・地震対応におけるドローンやロボット支援の必要性。 • Horizon Europe (Cluster 3: Civil Security for Society) 関連審議 : EU研究予算配分の議会承認の際に、災害対応ロボティクス／自律システムを「社会安全・レジリエンス強化」の研究課題として討議。
⑤ 調達・義務化動向	—

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2A-1-2-3-3. 海外の動向 対象テーマの領域における主な研究論文（EU）

①～②の各テーマを代表する研究論文を下表に整理した。各論文が示す技術的貢献と、実用化に向けて指摘されている主な課題を整理することで、今後の研究開発や制度・実装との接続を検討する際の基礎情報とする。

関連技術	論文名	国／機関	概要	実用化課題
①生存者探索/救助	Deployment of Aerial Robots during the Flood Disaster in Erfstadt / Blessem in July 2021	ドイツ/German Rescue Robotic Centre等	2021年エルフトシュタット洪水でUAV群を実運用し、現場で高精度3Dマップを生成する検証を実施。安全域判定や救助計画での活用に成功。	- 詳細探査時の自律性向上 - AIによる被害解析・損傷評価の自動化機能の向上 - 倒壊構造物に対する3D再構成精度向上 - 地上ロボット等とのデータ統合と相互運用性向上
	Aerial and Ground Robot Collaboration for Autonomous Mapping in Search and Rescue Missions	ギリシャ/Technical University of Crete	GNSS非依存環境で、UAVがSLAM + OctoMapにより2.5Dマップを生成し、UGVに提供。UAVでUGV位置を推定・把握し、同時にUGVは自己位置同定・移動し、被災者を検知する実証をPoCを実施。	- UAVの完全自律探索性能の向上 - 通信安定性の向上（遮蔽・輻輳耐性等） - 計算資源制約への対応（GPU活用、視覚処理の高速化）、など
②有害物質の検知・マッピング	UGV-CBRN: An Unmanned Ground Vehicle for Chemical, Biological, Radiological, and Nuclear Disaster Response	オーストリア/University of Applied Sciences Technikum Wien、など	CBRN災害対応を目的に、UGV単体で幾何マップと放射線分布の自律生成を行い、さらにバルブ閉止・汚染物質サンプリング・Raman分光による現地分析までを統合したロボットシステムを提案。探索・航行・マッピングは自律化しつつ、判断責任の重い操作は人が介在する半自律構成を採用。	- 大規模・屋外環境でのマッピング精度・頑健性の向上（照度変化、LiDARノイズ） - 計算資源制約下でのリアルタイム処理最適化・マニピュレータ/エンドエフェクタの汎用性・耐久性向上（瓦礫対応等）など
	RADRON: Cooperative Localization of Ionizing Radiation Sources by MAVs with Compton Cameras	チェコ/Czech Technical University	複数MAV（小型ドローン）による協調型放射線源探索・追跡手法を提案。単機では困難な移動する放射線源の追跡を、少数機（3機）の協調により実現。シミュレーションと実機実験の双方で、探索初期化時間の大幅短縮と位置推定精度の向上を実証。	- 低線量・遠距離条件での検知精度向上 - 多機協調時の通信信頼性・遅延耐向上 - 障害物・閉空間環境での運用性向上、など

●①**生存者探索/救助**：EUでは、災害・CBRN対応の実運用を前提に、UAV・UGV・MAVの役割分担と協調制御に注力。GNSS非依存・屋内外混在環境を想定し、分散制御と人介在を前提とした半自律運用を採用。訓練施設や実災害でのフィールド実証重視した傾向も見られる。

●②**有害物質の検知・マッピング**：EUでは、小型センサとAI解析により、有害物質のリアルタイム可視化を高度化。複数ドローン協調による放射線源の高速特定・追跡と、UGVによる近接分析を組み合わせ、初動探索から詳細対応までを段階的にカバーする実装志向が強い。

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2A-1-2-3-4. 海外の動向 国別の取組み／研究開発の担い手と役割（EU）

EUにおける災害ロボット技術関連の研究開発について、研究を担う中核的な組織の役割と分担構造に着目して整理し、各組織が担う研究の性格（基礎理論・評価・実証・実装支援）を明確化した。

組織区分	中核組織	主な役割	代表的な研究・プログラム例	主に生み出される研究成果
標準・評価機関	CEN / CENELEC	災害対応ロボットの試験方法・評価条件の標準化。現場適合性（瓦礫、閉空間等）を前提とした性能要件を明確化	・CWA 17947:2022（USaR装備フィールドテスト指針）	試験手法、性能評価基準、フィールドテスト手順
	European Commission	ロボットに搭載されるAIのリスク区分・品質管理・透明性要件の規定。高リスク用途での運用条件を明確化	・EU AI Act	AI品質管理要求、データ管理・説明責任要件
学術研究機関	EU域内大学・研究機関	災害・CBRN現場を想定した 基礎～応用研究の実証 。UAV・UGV・MAV協調、自律探索、危険物検知	・UAV×UGV連携による被災者探索実証	実災害データ、PoC、実証知見
助成機関	European Commission	災害対応ロボットを含む実証重視の研究開発投資	・Horizon Europe	自律探索、協調制御、危険環境対応ロボット技術

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2A-1-2-4-1. 海外の動向 国別の取組み／戦略文書（中国）

中国において、災害ロボット技術に関する研究開発の方向性や設計思想を規定している主な戦略文書について整理した。国家として災害ロボット技術をどのような位置づけで捉え、どのような技術的方向性を志向しているかに着目した。

文書名	主体	位置付け・主旨	研究開発の方向性（要点）
「十四五」公共安全・防災減災科技创新特別計画	Ministry of Science and Technology Emergency	「十四五」期間における公共安全分野の国家R&D戦略。災害の予測・監視から応急対応までを科技イノベーションで強化し、防災減災能力の体系的高度化を狙う政策文書	AI解析、無人化・ロボット装備、センシング・監視技術を重点化し、危険環境での探査・救助ロボットや実戦的応急装備の研究開発・実証を推進。災害対応の迅速化・高度化を目指す
「十四五」国家応急体系規画	State Council of the People's Republic of China	国家レベルの応急管理戦略計画。災害対応・安全生産・防災減災を統合し、2035年を見据えた応急管理体系の近代化と指揮・救援・装備能力の高度化を示す上位戦略文書	多災種監視・早期警戒、応急通信・指揮基盤、航空救援・専用装備の高度化を推進し、危険環境対応装備や専門救援能力の強化を重視。科技・情報化による救援効率向上と応急装備開発を後押し

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2A-1-2-4-2. 海外の動向 国別の取組み／政策・施策（中国）

中国における災害ロボット技術に関する主な政策・施策を下表に整理した。

ここでは、研究開発の成果が標準化、調達要件、運用ルール等を通じてどのように具体化してきたかに着目し、制度や運用として現れている状況に着目した。

区分	内容
① 戦略文書・ロードマップ（中長期の方向性）	・ 応急（緊急）ロボットの発展加速に関する指導意見（MEM, MIIT）：2025年までに監視・早期警戒／搜索救助／通信指揮／物資支援／危険作業代替等を担う「先進的な応急ロボットの開発」「重点シーンの実戦テスト・実証拠点の整備」「配備の強化」を標榜。耐高温・高湿・高寒・腐食・濁水・無通信など過酷環境適応や小型・高機動、マルチセンサ統合等を重点課題として列挙。 ・ Action plan for the development of key areas of safety emergency equipment（MEM等）：危険環境での探査・救助ロボットや無人機の開発、実証、標準化、産業化の推進、及び応急装備体系の高度化・現場対応力強化を目的として、災害対応分野のアクションプランを策定し、AI・無人化・ロボット装備の重点分野を設定。
② 標準化・規制スケジュール（優先度が表れる場所）	・ General technical conditions for ground debris search and rescue robots（SAMR）：分類・型式、移動／制御／作業／通信／安全保護／環境適応／連続稼働／信頼性、試験方法、検査規則を規定し、瓦礫下（USaR）用地上ロボの性能項目と試験法を明文化。 ・ Safety technical requirements of intelligent inspection robot systems for explosive workplaces（MEM）：発性環境で用いる巡検ロボットシステムの安全要件（防爆、EMC等）を具体化。
③ 公的R&Dプログラム（投資＝将来課題の“優先投票”）	・ 重点科技計画2025年度プロジェクト（MEM）：瓦礫・火災環境下に投入可能な救援ロボット、化学品漏洩・放射線環境下での遠隔操作システム等を対象にした最大2年間研究開発を支援。 ・ “Research and Development of First Aid Robot Equipment in Dangerous Buildings at Disaster Sites”（中国科学院）：倒壊の危険性などがある建物内部等での救急を想定し、複数タイプの救援ロボット開発・実証等を実施。被災者搬送ロボットの開発・実証等が行われている。
④ 議会・審議・白書など	—
⑤ 調達・義務化動向	—

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2A-1-2-4-3. 海外の動向 対象テーマの領域における主な研究論文（中国）

①～②の各テーマを代表する研究論文を下表に整理した。各論文が示す技術的貢献と、実用化に向けて指摘されている主な課題を整理することで、今後の研究開発や制度・実装との接続を検討する際の基礎情報とする。

関連技術	論文名	国／機関	概要	実用化課題
①生存者探索/救助	UAV-UGV Cooperative Trajectory Optimization and Task Allocation for Medical Rescue Tasks in Post-Disaster Environments	中国/科学院・清華大学、など	害後環境における医療支援を目的に、UAV×UGVの協調フレームワークを提案。遺伝的アルゴリズムによるタスク割当、Informed-RRTによる衝突回避軌道生成、CMA-ESによる経路最適化を統合し、異種ロボットの役割分担を最適化。シミュレーションでは従来手法比でミッション完了時間を大幅短縮し、災害現場での効率的な資材搬送・探索への有効性を示した。	- 動的災害環境でのリアルタイム再計画・計算負荷の増大 - 通信途絶・GNSS不安定条件下での協調制御の信頼性維持 - 実機環境（瓦礫・煙・電波障害等）での軌道生成ロバスト性向上、など
	Cooperative Multi-UAV Search for Prioritized Targets Under Constrained Communications	中国/Beihang University、など	信制約下でのUAV群協調探索を目的に、CHTS-CCアルゴリズムを提案。イベントトリガ型情報融合（CCIF-ET）と動的優先度タスク割当（DPTA）を統合し、通信負荷を抑えつつ高優先ターゲットへの応答性を向上。障害物・通信途絶・機体故障を含むシナリオで、ミッション完了時間と重要目標の検出時間を大幅短縮し、災害救助や通信妨害環境でのUAVスウォーム運用の有効性を示した。	- 不完全通信環境下での環境認識精度向上（データ欠損・遅延問題） - UAV数増加時の通信最適化と計算負荷増大への対応 - 実環境（煙・瓦礫・電波干渉）での情報融合アルゴリズムのロバスト性向上、など - CBRN等の高リスク環境に適用するためのセンサ融合・自律判断機能の拡張
②有害物質の検知・マッピング	Estimating the spatial distribution of soil total arsenic using UAV-borne hyperspectral imagery and deep learning	中国/Hubei University、など	UAV搭載ハイパースペクトルと深層学習を用い、鉦山周辺の土壌ヒ素濃度を高精度推定し空間分布を可視化。現地サンプリングと統合した広域汚染評価手法として、迅速な環境モニタリングへの有効性を示した。	- 土壌条件や観測高度差によるスペクトル変動へのモデル汎化 - 広域運用時の計算負荷増大、リアルタイム処理の確立、など

●①**生存者探索/救助**：中国は、UAV-UGV協調最適化や群制御アルゴリズムを活用し、通信制約下でも役割分担と軌道最適化を統合。災害環境を想定したシミュレーションで探索効率と応答性向上を重視している。

●②**有害物質の検知・マッピング**：UAV搭載ハイパースペクトルと深層学習を組み合わせ、土壌中有害物質の空間分布を高精度推定。広域・迅速モニタリングを志向し、実環境ノイズや計算負荷への対応を強化している。

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2A-1-2-4-4. 海外の動向 国別の取組み／研究開発の担い手と役割（中国）

中国における災害ロボット技術関連の研究開発について、研究を担う中核的な組織の役割と分担構造に着目して整理し、各組織が担う研究の性格（基礎理論・評価・実証・実装支援）を明確化した。

組織区分	中核組織	主な役割	代表的な研究・プログラム例	主に生み出される研究成果
戦略・政策立案機関	応急管理部（MEM）／ 工業情報化部（MIIT）	応急ロボット重点分野設定、実戦テスト拠点整備、装備体系高度化。危険環境対応ロボットの中長期方針策定	・応急（緊急）ロボット発展加速に関する指導意見 ・Action plan for development of key areas of safety emergency equipment	国家戦略、計画
標準・評価機関	国家市場監督管理総局（SAMR）	災害対応ロボットの 性能要件・試験方法・安全基準の標準化 。瓦礫環境・防爆環境等を想定した適用条件を明確化	・General technical conditions for ground debris search and rescue robots、など	安全基準など
学術研究機関	国内大学	災害・通信制約環境を想定した 基礎～応用研究の実証 。UAV-UGV協調、群制御、有害物質推定AIの高度化	UAV協調連携技術の開発	協調制御アルゴリズム、群探索AIなど
助成機関	科学技術部（MOST）／ 中国科学院（CAS）	倒壊危険性等の高い建物内救助、化学・放射線環境対応ロボットの重点投資・実証推進	・Research and Development of First Aid Robot Equipment in Dangerous Buildings at Disaster Sites	実証型統合ロボットシステム、現場実験データ

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2A-1-2-5-1. 海外の動向 国別の取組み／戦略文書（英国）

英国において、災害ロボット技術に関する研究開発の方向性や設計思想を規定している主な戦略文書について整理した。国家として災害ロボット技術をどのような位置づけで捉え、どのような技術的方向性を志向しているかに着目した。

文書名	主体	位置付け・主旨	研究開発の方向性（要点）
Integrated Review Refresh 2023 Responding to a more contested and volatile world	UK Governmnet	英国の安全保障・防衛・外交・経済安全保障を統合する最上位国家戦略（2021年版の改訂）。国家レジリエンス強化を柱とし、武力紛争のみならず大規模災害・複合危機（pandemic、重要インフラ被害等）への備えを重視	AI・自律システム・ロボティクス・宇宙・サイバー分野への戦略投資を明示。重要インフラ防護、災害・緊急事態対応能力の高度化、データ統合型危機管理を推進。無人・遠隔システムの活用により、危険環境下での対応能力向上と人的リスク低減を志向。
Smart Machines Strategy 2035	Department for Science, Innovation & Technology	英国が2035年までにロボティクス・自律システム分野で世界的リーダーとなることを目指す国家戦略。経済成長、生産性向上、公共サービス高度化、国家レジリエンス強化を目的とし、需要創出と供給側エコシステム整備を両輪で推進。規制・標準・倫理枠組みの整備と人材育成・投資促進を柱とする	AI統合型ロボティクス・自律システムの社会実装を加速。公共調達・実証環境（Living Labs）を通じ導入を促進。製造、物流、インフラ保守、医療・介護等での活用拡大を志向。危険環境作業の代替により安全性向上を図る、災害ロボットを個別に扱う明示的戦略記載は無し。
THE UK'S MODERN INDUSTRIAL STRATEGY	UK Governmnet	英国の長期的な成長と生産性向上を目的とする国家産業戦略。先端製造やデジタル分野を重点に、投資促進、規制整備、研究基盤強化を通じて国際競争力を高める	ロボティクス・自動化は先端製造やデジタル分野の基盤技術として位置付けられ、AIやデータと統合した高度化を推進。但し、災害ロボットなど用途別R&D戦略は明示されていない。

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2A-1-2-5-2. 海外の動向 国別の取組み／政策・施策（英国）

英国における災害ロボット技術に関する主な政策・施策を下表に整理した。

ここでは、研究開発の成果が標準化、調達要件、運用ルール等を通じてどのように具体化してきたかに着目し、制度や運用として現れている状況に着目した。

区分	内容
① 戦略文書・ロードマップ（中長期の方向性）	・ UKRI strategic themes (UKRI) : 研究開発投資の重要テーマとして、“Building a green future”、“Creating opportunities, improving outcomes”等に加え、災害関連の内容を含む“Building a secure and resilient world”を設定。
② 標準化・規制スケジュール（優先度が表れる場所）	・ BSI が ISO を国内規格として採用し、認証。
③ 公的R&Dプログラム（投資＝将来課題の“優先投票”）	・ Eureka Disaster Resilience Programme Collaborative R&D (UKRI) : 災害の予防・対応・復旧に資する革新的技術の研究開発を（Eureka国との）共同で推進するプロジェクトに対し助成を行う制度。検知・探索・救助を担う災害対応ロボティクスなど、危機現場での実装と商用化を見据えた技術開発を支援する。 ・ National Centre for Nuclear Robotics (NCNR) : 高放射線環境下での解体・廃止措置に対応する自律・遠隔ロボティクス技術を開発する研究拠点。知覚・航法・把持操作・共有制御などの高度化を進め、危険環境作業の安全化と産業応用の拡大を目指す。
④ 議会・審議・白書など	—
⑤ 調達・義務化動向	—

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2A-1-2-5-3. 海外の動向 対象テーマの領域における主な研究論文（英国）

①～②の各テーマを代表する研究論文を下表に整理した。各論文が示す技術的貢献と、実用化に向けて指摘されている主な課題を整理することで、今後の研究開発や制度・実装との接続を検討する際の基礎情報とする。

関連技術	論文名	国／機関	概要	実用化課題
①生存者探索/救助	Multi-agent robotic system (MARS) for UAV-UGV path planning and automatic sensory data collection in cluttered environments	英国／University College London (UCL) 等	障害物の多い屋内環境で、UGVとUAVを協調させて経路計画と自動センシングを行う多エージェントロボットシステム（MARS）を提案。媒介エージェントが両機体の情報を統合し、障害物回避と探索効率を両立。SLAMに基づく位置推定と2D画像・3D点群の統合収集を実証した。	—
	Team CERBERUS Wins the DARPA Subterranean Challenge: Technical Overview and Lessons Learned	英国／University of Oxford等	GPSが利用できない地下・屋内環境において、足歩行UGVとUAVを協調させ、自律探索・3D地図作成・Artifact（被災者想定対象）検知・位置報告までを統合的に実施するシステムを構築。マルチモーダルSLAM、通信中継ノード、Human Supervisor連携を統合し、実環境競技で有効性を実証。	- マルチロボット間の地図統合精度向上 - 通信途絶環境下での情報共有安定化 - 計算資源制約下でのリアルタイム処理 - Human-in-the-loopの運用最適化
②有害物質の検知・マッピング	Autonomous Cooperative Mapping of GPS-Denied Cluttered Environments Using Gaussian Process Regression	英国/Lancaster University等	GPSが利用できない屋内環境で、2台のUGVが協調して探索・地図作成と環境場（温度）推定を同時実施する手法を提案。SLAMとGaussian Process Regressionを統合し、未知空間での安全走行と環境分布推定を実証した。	- 探索経路と推定精度の同時最適化 - マルチロボット間の地図統合精度向上 - 動的障害物へのロボタスト対応 - 計算・通信制約下でのリアルタイム処理
	Use of Gaussian Process Regression for Radiation Mapping of a Nuclear Reactor with a Mobile Robot	英国/University of Manchester 等	ロボットで収集した不均一・ノイズの多い放射線データから、高精度な連続放射線分布マップを推定する手法として、Gaussian Process Regression（GPR）を適用。従来法が苦手とする低カウント・不整データを扱い、原子炉ホール内でのγ線線量推定と放射源の識別に成功した。	- センサ誤差・低カウント環境での安定推定 - 高線量下でのハードウェア信頼性 - SLAMとの統合による高精度位置推定 - リアルタイム推定アルゴリズムの軽量化

●①生存者探索/救助：英国は、DARPA SubT等を通じてUGV・UAVの協調探索やマルチモーダルSLAM、通信中継技術を統合し、GPS不在環境下での自律探索・地図生成・対象検知と位置報告までを一体的に実証。Human-in-the-loop運用を前提に、実環境適用を志向している。

●②有害物質の検知・マッピング：aussian ProcessやSLAMを活用し、放射線等の不均一・ノイズ環境データから高精度な空間分布推定を実現。低カウント条件や高線量環境への適応を重視し、原子力施設内での実証研究を進めている。

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2A-1-2-5-4. 海外の動向 国別の取組み／研究開発の担い手と役割（英国）

英国における災害ロボット技術関連の研究開発について、研究を担う中核的な組織の役割と分担構造に着目して整理し、各組織が担う研究の性格（基礎理論・評価・実証・実装支援）を明確化した。

組織区分	中核組織	主な役割	代表的な研究・プログラム例	主に生み出される研究成果
戦略・政策立案機関	UK Government（内閣府・DSIT等）	国家安全保障・産業政策の中でロボティクス・自律システムを重点分野として位置付け。災害・危険環境対応能力向上や国家レジリエンス強化の観点から研究開発方向を提示。	Integrated Review Refresh 2023 / Smart Machines Strategy 2035 / The UK's Modern Industrial Strategy	AI・自律システム・ロボティクスの国家戦略、危険環境対応能力向上方針、公共サービス・インフラ分野へのロボット導入方針
標準・評価機関	BSI（British Standards Institution）	ISO等の国際標準を国内標準として採用し、ロボット・自律システムの安全性・認証枠組を整備。研究成果の社会実装に向けた規格化・制度化を推進。	ISO標準の国内採用・認証制度	ロボット安全規格、認証制度、運用ルール整備
学術研究機関	国内大学・研究機関	UGV・UAV協調探索、SLAM、放射線・有害物質マッピング等、災害・危険環境対応ロボティクスの基盤技術研究を実施。	DARPA Subterranean Challenge 関連研究 / MARS（UAV-UGV協調探索） / Radiation Mapping研究	マルチロボット協調制御、GPS非依存環境でのSLAM、放射線・有害物質の自律マッピング技術
助成機関	UKRI（UK Research and Innovation）	国家研究資金を通じて災害対応ロボティクスや危険環境ロボットの研究開発・実証を支援。国際共同研究も推進。	UKRI strategic themes / Eureka Disaster Resilience Programme Collaborative R&D / National Centre for Nuclear Robotics (NCNR)	危険環境ロボット技術、原子力施設対応ロボット、災害レジリエンス技術の研究基盤

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2A-1-2-6-1. 海外の動向 国別の取組み／戦略文書（日本）

日本において、災害ロボット技術に関する研究開発の方向性や設計思想を規定している主な戦略文書について整理した。国家として災害ロボット技術をどのような位置づけで捉え、どのような技術的方向性を志向しているかに着目した。

文書名	主体	位置付け・主旨	研究開発の方向性（要点）
第6期科学技術・イノベーション基本計画	内閣府	日本の科学技術政策における最上位の国家基本計画。Society 5.0の実現を掲げ、社会課題解決と経済成長を両立する科学技術・イノベーション政策の方向性を示す戦略文書	AI・データ連携、医療・ヘルスケア、レジリエンス、防災、安全保障などの分野を横断し、サイバーとフィジカルの融合による価値創出を推進。研究力強化、社会実装、産業創出を一体的に進め、医療DXやロボット技術の社会実装基盤を整備。

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2A-1-2-6-2. 海外の動向 国別の取組み／政策・施策（日本）

日本における災害ロボット技術に関する主な政策・施策を下表に整理した。

ここでは、研究開発の成果が**標準化、調達要件、運用ルール等**を通じてどのように具体化してきたかに着目し、制度や運用として現れている状況に着目した。

区分	内容
① 戦略文書・ロードマップ（中長期の方向性）	・ 戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）：人＋サイバー・フィジカル空間を軸とした人協調型ロボティクスの開発社会実装を標榜。ユースケースとして差が維持の避難誘導（煙の中での呼びかけや探索）等も想定。 ・ 東京電力ホールディングス㈱福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン 2024（NDF）：デブリ除去に向けたロボットアームの可搬重量増加やアクセス性向上等の改良を標榜。
② 標準化・規制スケジュール（優先度が表れる場所）	・ 福島ロボットテストフィールド（RTF）（福島イノベーション・コースト構想推進機構）：瓦礫路面・狹隘構造・閉所・トンネル・プラント模擬など“地上ロボ向け”の現場模擬環境を持ち、性能評価→訓練→運用手順の確立までを一気通貫で支援する“標準化の器”として機能。
③ 公的R&Dプログラム（投資＝将来課題の“優先投票”）	・ Word Robot Summit（WRS）（経済産業省、NEDO）：ロボットの社会実装や研究開発加速を目的として開催し、実践の場を提供。競技には「過酷環境下」での競技も含まれる。 ・ 福島ロボットテストフィールド（RTF）（福島イノベーション・コースト構想推進機構）：瓦礫路面・狹隘構造・閉所・トンネル・プラント模擬など“地上ロボ向け”の現場模擬環境を持ち、実証の場を提供。 ・ 消防ロボットシステムの開発（消防庁）：耐熱性が高く、災害状況の画像伝送や放水等の消防活動を行うAI技術を活用した消防ロボットシステムの研究開発を推進。
④ 議会・審議・白書など	—
⑤ 調達・義務化動向	—

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2A-1-2-6-3. 海外の動向 対象テーマの領域における主な研究論文（日本）

①～②の各テーマを代表する研究論文を下表に整理した。各論文が示す技術的貢献と、実用化に向けて指摘されている主な課題を整理することで、今後の研究開発や制度・実装との接続を検討する際の基礎情報とする。

関連技術	論文名	国／機関	概要	実用化課題
①生存者探索/救助	A heterogeneous robots collaboration for safety, security, and rescue robotics: e-ASIA joint research program for disaster risk and reduction Management	日本/京都大学など	UAV・UGV・USVの異種ロボットを統合する協調運用基盤を開発し、GUI・通信・経路計画・3D可視化を連携させて災害監視・探索を実証。実用化には通信途絶時の協調制御、オペレータ負荷低減、標準化されたインターフェース整備等を課題として指摘。	- 異種ロボット間通信の安定化と帯域管理 - 分散意思決定と人間オペレータUIの統合 - GNSS不安定環境での協調制御・国際共同運用時の標準化 - 相互運用性確保、など
	災害対応における建設ロボットのための遠隔操作技術の開発	日本/東京大学など	不整地経路生成、俯瞰映像提示、透視表示、水中3D計測など遠隔操作支援技術を開発し、危険環境での無人施工を実証。実用化では通信遅延下の操作安定性、センサ故障時の認知支援、複数ロボット統合運用の信頼性向上等を課題として指摘。	- 遅延通信下での遠隔操作安定性 - センサ故障時の視覚提示信頼性 - 実環境でのシステム統合 - 長時間運用・複数ロボット連携への拡張、など
②有害物質の検知・マッピング	Development of Unmanned Remote System to Find Radiation Sources Based on 4n Gamma Imaging	日本/東京大学など	4nガンマ線イメージングとSLAMを統合し、未知放射線源を迅速探索する無人車両システムを開発。LiDAR・全天球カメラ・CdTe検出器を搭載し、16×16m環境でCs137線源の検知と位置推定を実証。環境地図と放射線分布を同時生成するCBRNE対応ロボット技術を開発。	- 遮蔽物による線量減衰や複数線源環境での位置推定精度向上、 - 広域空間での探索時間増大 - 通信制約・高線量耐性・リアルタイム処理性能の強化、など
	Discrimination of Plant Structures in 3D Point Cloud Through Back-Projection of Labels Derived from 2D Semantic Segmentation	日本/JAEAなど	3D点群から生成した投影画像を2D深層学習でセグメンテーションし、逆投影と多視点ラベル融合で設備構造を自動識別する手法を開発。3Dモデル化の省力化を実証したが、処理時間増大や仮想カメラ配置、識別精度向上等を実用化課題として指摘。	- ラベル融合処理の計算時間短縮とリアルタイム処理性能の向上 - 仮想カメラ配置や視点探索の最適化不足による識別精度低下 - 大規模実環境データ不足、など

●①**生存者探索/救助**：日本では、異種ロボット統合基盤や遠隔操作支援UIを整備し、通信不安定環境下での安全・安定運用を重視。GNSS不安定や遅延下での協調制御、実環境適用性の向上に注力している。

●②**有害物質の自律検知・マッピング技術の確立**：イメージングや3D点群解析と深層学習を統合し、放射線源や構造物を高精度識別。位置推定精度向上とリアルタイム処理強化を図り、CBRNE対応の実装性を重視している。

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2A-1-2-6-4. 海外の動向 国別の取組み／研究開発の担い手と役割（日本）

日本における災害ロボット技術関連の研究開発について、研究を担う中核的な組織の役割と分担構造に着目して整理し、各組織が担う研究の性格（基礎理論・評価・実証・実装支援）を明確化した。

組織区分	中核組織	主な役割	代表的な研究・プログラム例	主に生み出される研究成果
戦略・政策立案機関	内閣府	科学技術政策の最上位計画策定、Society5.0推進、防災・医療DX統合方針提示	第6期科学技術・イノベーション基本計画	国家戦略、研究重点領域設定
	経済産業省	廃炉・災害対応ロボットの技術高度化方針策定	廃炉のための技術戦略プラン2024	実装ロードマップ、装備高度化指針
標準・評価機関	国内大学・研究機関	実環境模擬フィールドでの性能評価・訓練・運用手順確立	RTF実証プログラム	実証データ、評価手法、運用ノウハウ
学術研究機関	国内大学・研究機関	ロボット間連携技術、有害物質検知技術等の研究開発	・ロボット協調運用基盤研究 ・4nガンマ線イメージング研究	協調制御基盤技術、統合運用UI、CBRNE対応マッピング技術など
助成機関	NEDO	ロボット社会実装・研究開発加速のための助成	World Robot Summit（WRS）	実証成果、競技型技術高度化

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2B-1-1-1. ユースケース×関連技術の整理

以下の通り、ユースケースと関連技術を整理した。

		ユースケース	調査対象とする技術（例）
筋電義肢	単関節	義手 基本把持動作の実現 （コップを掴む・物を持ち上げるなど）	・ 高密度筋電：筋肉の表面に 数十～数百の電極をマトリクス状に配置し、より精緻に筋電情報を取得 ・ 深層学習：高密度筋電等からの多次元データを解析し、動作制御を高精度に分類 ・ 移転学習：別ユーザーで学習した制御方法を別ユーザー用へも移転
		義足 基本歩行の実現 （平地での直線歩行や立位保持など）	
	多関節	義手 複雑操作・作業動作の実現 （工具操作や機器操作など）	
		義足 環境適応型歩行の実現 （階段昇降・坂道歩行・不整地歩行など）	
遠隔医療	初期診断・トリアージ		・ 自律トリアージ：AIにて被災者等のバイタル情報を読み取り、初期診断・トリアージを実施
	処置・治療（止血、薬物投与、外科処置、など）		・ 低遅延ネットワーク：スムーズな遠隔操作を実現 ・ 触覚フィードバック：自然感触・操作感を実現 ・ 拡張現実（AR）：より精緻な資格情報提供を実現

より精緻な制御を実現

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2B-1-1-2. ユースケース×関連技術の評価

筋電義肢、遠隔医療のユースケースについて、それぞれ優先度・影響度の観点で評価した。

赤枠で示している3つのユースケースを念頭に、筋電義肢の多関節動作の実現（テーマ①）、遠隔治療技術（テーマ②）について、技術調査を行った。※評価軸の定義については次頁参照

ユースケース		優先度 (筋電義肢の活用必要性)	影響度 (使用者の自立支援効果)	
筋電義肢	単関節 義手 基本把持動作の実現 (コップを掴む・物を持ち上げるなど)	中	中	
	義足 基本歩行の実現 (平地での直線歩行や立位保持など)	中	中	
	多関節 義手 複雑操作・作業動作の実現 (工具操作や機器操作など)	高	高	テーマ①： 筋電義肢の 多関節動作の実現
	義足 環境適応型歩行の実現 (階段昇降・坂道歩行・不整地歩行など)	高	高	
		優先度 (ロボットの活用必要性)	影響度 (被災者の人命リスク低減効果)	
遠隔医療	初期診断・トリアージ	中	中	
	処置・治療（止血、薬物投与、外科処置、など）	高	高	テーマ②： 遠隔治療の実現

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2B-1-1-3. 優先度・影響度評価の定義（1/2）

筋電義肢に係るユースケースの評価軸

優先度（筋電義肢の活用必要性）

区分	定義	主な判断基準
高（High）	ものを掴む等の日常生活における動作を実行するうえで、義肢等の活用が不可欠	義肢等を活用しなければ、第三者等の援助や他手法の利用なしに特定の動作を実行できない
中（Medium）	ものを掴む等の日常生活における動作を実行するうえで、義肢等の活用が望ましい	義肢等を活用しなくても、第三者等の援助や他手法により動作を実行できる 他手法例）松葉図絵利用による歩行
低（Low）	ものを掴む等の日常生活における動作を実行するうえで、義肢等の活用の必要性が低い	動作実行に際し、義肢などを活用する必要が無い

影響度（利用者のQOL向上効果）

区分	定義	主な判断基準
高（High）	義肢活用による利用者のQOL向上効果が高い	義肢活用により、モノを掴む等の基本的な動作に加え、モノの操作等のより複雑な動作を自立的に実行できる
中（Medium）	義肢活用による利用者のQOL向上効果が一定程度認められる	義肢活用により、モノを掴む等の基本的な動作を自立的に実行できる
低（Low）	義肢活用による利用者のQOL向上効果がほとんど認められない	義肢を活用しても、特定の動作を自立的に実行できない

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2B-1-1-3. 優先度・影響度評価の定義（2/2）

遠隔医療に係るユースケースの評価軸

優先度（ロボットの活用必要性）

区分	定義	主な判断基準
高（High）	医療人員の人命リスクを低減し、災害発生後に医療体制を迅速に構築するうえで、ロボット活用が必要	- 医療行為を行ううえで、被災地へのアクセス等の際に医療人員への人命リスクが発生する - 医療行為に遅延が生じることで、被災者の人命リスクが直接的に高まる
中（Medium）	医療人員の人命リスクを低減し、災害発生後に医療体制を迅速に構築するうえで、ロボット活用が望ましい	- 医療行為を行ううえで、被災地へのアクセス等の際に医療人員への人命リスクが発生する - 医療行為に遅延が生じても、被災者の人命リスクが間接的に高まる
低（Low）	医療人員の人命リスクを低減し、災害発生後に医療体制を迅速に構築するうえで、ロボット活用の必要性が低い	- 医療行為を行ううえで、被災地へのアクセス等の際に医療人員への人命リスクが無い - 医療行為に遅延が生じても、被災者の人命リスクが高まらない

影響度（人命リスク低減効果）

区分	定義	主な判断基準
高（High）	特定の医療行為を実施することにより、被災者の大きく人命リスクが低減される	当該医療行為が人命リスク除去や身体的機能回復に直接的に寄与
中（Medium）	特定の医療行為を実施することにより、被災者の人命リスクが一定程度低減される	当該医療行為が人命リスク除去や身体的機能回復に間接的に寄与
低（Low）	特定の医療行為の実施による被災者の人命リスク低減効果が認められない	当該医療行為が人命リスク除去や身体的機能回復に寄与しない

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2B-1-2-2-1. 海外の動向 国別の取組み／戦略文書（米国）

米国において、医療ロボット技術に関する研究開発の方向性や設計思想を規定している主な戦略文書について整理した。国家として医療ロボット技術をどのような位置づけで捉え、どのような技術的方向性を志向しているかに着目した。

文書名	主体	位置付け・主旨	研究開発の方向性（要点）
STRATEGIC PLAN 2023-2028	U.S. Department of Veterans Affairs (VA)	退役軍人向け医療・福祉サービスの中長期戦略。イノベーションを戦略的重要分野として位置付け、個々のニーズに対応する先端医療・リハビリ等の高度化を志向	高齢化・障害を抱える退役軍人への対応として、リハビリ・義肢装具・遠隔医療の高度化を重視し、先端技術の導入・実装を制度側から後押し。
A Roadmap for US Robotics 2024	学術機関 (UCSD等)	米国におけるロボティクス研究・社会実装の包括的ロードマップ。医療・ヘルスケア分野を、ロボティクス活用が加速する主要分野の一つとして明示	医療・ヘルスケア分野を重点応用領域として位置付け、手術支援、リハビリ、介護支援、遠隔医療におけるロボティクス活用を想定。医療従事者不足への対応として、人間中心（Human-in-the-loop）の医療ロボット、安全性・信頼性・AI統合を重視し、基礎研究（知覚・操作・AI）から実装（規制・倫理・社会受容）までを一体で進める必要性を提示。

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2B-1-2-2-2. 海外の動向 国別の取組み／政策・施策（米国）

米国における医療ロボット技術に関する主な政策・施策を下表に整理した。

ここでは、研究開発の成果が標準化、調達要件、運用ルール等を通じてどのように具体化してきたかに着目し、制度や運用として現れている状況に着目した。

区分	内容
① 戦略文書・ロードマップ（中長期の方向性）	• STRATEGIC PLAN 2023-2028（VA）：戦略的重要分野としてイノベーションを掲げ、個々人のニーズを満たすための先端的医療ケアに向けた研究イノベーション推進を標榜。 • A Roadmap for US Robotics 2024：ヘルスケア分野をロボティクス活用が進む主要領域の一つとして示し、特に医療従事者不足対策におけるロボティクスの重要性を指摘。
② 標準化・規制スケジュール（優先度が表れる場所）	• Robotically-Assisted Surgical (RAS) Devicesの承認（FDA）：手術室環境下における、一般外科、心臓外科、大腸外科、婦人科、頭頸部外科、胸部外科および泌尿器科の腹腔鏡下手術でのRAS利用を承認。 • Cybersecurity in Medical Devices: Quality System Considerations and Content of Premarket Submissions Guidance for Industry and Food and Drug Administration Staff（FDA）：ネットワーク接続・ソフトウェア依存の高い医療機器の設計・表示・市販前提出資料に求めるサイバー要求を提示。
③ 公的R&Dプログラム（投資＝将来課題の“優先投票”）	• Autonomous Interventions and Robotics (AIR) program（ARPA-H）：自律/半自律ロボット×遠隔介入」を志向した研究開発プログラムを立ち上げ。 • Revolutionizing Prosthetics program（DARPA）：上肢義肢の機能革新を目的に立ち上げられたプログラム。複数の関節を持つ高機能義肢等が開発された。 • オルソシス開発（VA）：筋電信号を用いて装着型装具（オルソシス）を制御し、リハビリ訓練を支援する技術・研究への資金援助を実施。
④ 議会・審議・白書など	• Medicareプログラムにおける遠隔医療関連、特に遠隔診断等の要件緩和（地理的要件）等に関する審議や法案提出が実施されている。
⑤ 調達・義務化動向	※「FDAによる承認有無」が実質的な調達基準。

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2B-1-2-2-3. 海外の動向 対象テーマの領域における主な研究論文（米国）

①～②の各テーマを代表する研究論文を下表に整理した。各論文が示す技術的貢献と、実用化に向けて指摘されている主な課題を整理することで、今後の研究開発や制度・実装との接続を検討する際の基礎情報とする。

関連技術	論文名	国／機関	概要	実用化課題
①筋電義肢の多関節動作	Wearable high-density EMG sleeve for complex hand gesture classification and continuous joint angle estimation	米国/Battelle Memorial Institute, Neurotechnology等	前腕装着型の高密度EMGスリーブで37動作を一動作単位では97%超、連続動作では92.8%の精度で識別し、関節角度も高精度に推定。遅延補正と事前学習で実用性を高め、義手等での活用有望性を示唆。	リアルタイム性の強化、識別精度向上、汎用性向上、電極の耐摩擦性等の向上、など
	Neurorobotic fusion of prosthetic touch, kinesthesia, and movement in bionic upper limbs promotes intrinsic brain behaviors	米国／Lerner Research Institute, VAなど	視覚ベースの触覚（接触/圧等）だけでなく、運動感覚（kinesthesia）や動作と統合した「神経—ロボット融合」の方向性を提示。	個人差・長期使用を考慮した安定的な高度な感覚統合の実現（適切な感覚情報の提供など）
②遠隔治療	Compensatory motion scaling for time-delayed robotic surgery	米国／UC San Diego, Stanford universityなど	遠隔手術のボトルネックである往復遅延に対し、操作量（スケーリング）を調整してエラー低減できることを、dVRKを用いたタスクで検証。	変動遅延・パケットロスを含む現実ネットワークでの頑健性、手技別最適化
	Enhancing robotic telesurgery with sensorless haptic feedback	米国／Johns Hopkins Universityなど	力センサ無しの推定（学習＋動力学補償）によるセンサレス触覚の効果を検証。具体的には、腫瘍探索等のタスクでの利用を検証し、性能改善効果を分析。	推定誤差が安全に与える影響の評価、臨床対象（臓器・工具）ごとのモデル適合、など

①筋電義肢の多関節動作：米国では、高密度EMGや神経信号を用いた運動意図の高精度推定と連続制御を基盤に、触覚・運動感覚・動作を統合した神経—ロボット融合を志向している。深層学習等を活用し、個人差や長期使用を考慮した制御安定性の確保を重視している。

②遠隔治療：通信遅延やパケットロスなど現実環境の制約を前提に、操作量調整や推定型触覚フィードバックにより安全で直感的な操作を実現する研究が進む。災害現場や遠隔地医療を見据え、リアルタイム性と頑健性の向上が重視されている。

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2B-1-2-2-4. 海外の動向 国別の取組み／研究開発の担い手と役割（米国）

米国における医療ロボット技術関連の研究開発について、研究を担う中核的な組織の役割と分担構造に着目して整理し、各組織が担う研究の性格（基礎理論・評価・実証・実装支援）を明確化した。

組織区分	中核組織	主な役割	代表的な研究・プログラム例	主に生み出される研究成果
標準・評価機関	FDA	医療ロボットの安全性・有効性 評価、承認・規制	RAS Devices承認、Cybersecurity in Medical Devices Guidance	承認基準、サイバー要件、設 計・表示要件
防衛・先端研究機関	DARPA	義肢・神経接続など革新的基盤 技術の創出	Revolutionizing Prosthetics Program	高機能義肢、BMI・制御技術
学術研究機関	学術機関	国家レベルでのロボティクス研究 の重点分野整理	A Roadmap for US Robotics 2024	医療分野を含む研究投資の方 向性
調達要件策定機関	FDA	医療ロボットの安全性・有効性 評価、承認・規制	RAS Devices承認	技術・機器承認
連邦助成機関	ARPA-H	高リスク・高インパクト型医療ロ ボット研究を推進	Autonomous Interventions and Robotics (AIR) Program	自律／半自律医療ロボット技術

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2B-1-2-3-1. 海外の動向 国別の取組み／戦略文書（EU）

EUにおいて、医療ロボット技術に関する研究開発の方向性や設計思想を規定している主な戦略文書について整理した。国家として医療ロボット技術をどのような位置づけで捉え、どのような技術的方向性を志向しているかに着目した。

文書名	主体	位置付け・主旨	研究開発の方向性（要点）
Communication on the digital transformation of health and care	European Commission	EUにおけるデジタルヘルス・ケア変革の上位方針。市民中心・持続可能な医療提供を目的に、デジタル技術の導入と制度整備を包括的に提示	遠隔医療・在宅ケアの高度化を軸に、ロボット・AIを活用した診療支援・リハビリ・介護支援の実装を促進。データ相互運用性、サイバーセキュリティ、信頼性確保を前提に、医療現場で使える人間中心設計（Human-centred）を重視。
Apply AI Strategy	European Commission	EUのAI戦略を実装フェーズに移行させるための横断的施策。医療は重点応用分野の一つ	AIを組み込んだ医療ロボットの実運用促進を重視。高リスクAIとしての安全性・説明可能性・人の監督（Human-in-the-loop）を確保しつつ、TEF等を通じた実証・市場展開を後押し。

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2B-1-2-3-2. 海外の動向 国別の取組み／政策・施策（EU）

EUにおける医療ロボット技術に関する主な政策・施策を下表に整理した。

ここでは、研究開発の成果が標準化、調達要件、運用ルール等を通じてどのように具体化してきたかに着目し、制度や運用として現れている状況に着目した。

区分	内容
① 戦略文書・ロードマップ（中長期の方向性）	Robotics4EU（Healthcare area report）：医療・ケア領域でのロボット普及に向け、技術課題だけでなく規制・倫理・受容性など非技術的障壁も含めた研究開発の方向性を提示（医療ロボットの社会実装設計に直結）。
② 標準化・規制スケジュール（優先度が表れる場所）	- MDCGガイダンス：医療機器ソフトのクラス分類、安全設計等に関する要求事項をまとめたガイダンス。遠隔操作やAIによる支援を伴う医療ロボットも対象となる。 - EU AI Act：医療用途のAI（医療機器ソフト等）を含むハイリスクAIに厳格要件（リスク管理、データ品質、情報提供、人の監督など）を課す。筋電義肢の意図推定AIや遠隔治療ロボの意思決定AIに影響。
③ 公的R&Dプログラム（投資＝将来課題の“優先投票”）	- Horizon Europe（AI・Data・Roboticsの新規プロジェクト群）：医療・ケアを含む領域でのAI/ロボティクス研究を資金支援（AIによる医療分野での意思決定支援、支援ロボ等のテーマが対象になり得る）。 - Testing and Experimentation Facilities (TEFs) for AI：医療AI等含む、AI技術を実環境に近い条件で試験・検証するための施設群を整備。医療分野に特化した“TEF-Health”プロジェクトも立ち上げ。
④ 議会・審議・白書など	EHDS（European Health Data Space）法制化：EU域内での保健医療データのアクセス・共有・二次利用の枠組みを整備。筋電義肢や遠隔治療ロボの学習・評価（データ利活用）に波及する可能性有り。
⑤ 調達・義務化動向	—

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2B-1-2-3-3. 海外の動向 対象テーマの領域における主な研究論文（EU）

①～②の各テーマを代表する研究論文を下表に整理した。各論文が示す技術的貢献と、実用化に向けて指摘されている主な課題を整理することで、今後の研究開発や制度・実装との接続を検討する際の基礎情報とする。

関連技術	論文名	国／機関	概要	実用化課題
①筋電義肢の多関節動作	A Multi-Scale CNN for Transfer Learning in sEMG-Based Hand Gesture Recognition for Prosthetic Devices	スイス /University of Applied Sciences Western Switzerland	健常者において、Multi-Scale CNNと転移学習でsEMG手指動作認識を高精度・低計算負荷で実現。新規ユーザーでも短時間学習で高性能を維持し、義手制御の実用性を大幅に向上。	- 各切断患者に対応した個別モデルの構築 - 電極ずれ・皮膚状態変化への適応 - リアルタイム性、及び計算負荷軽減の両立、など
	Unlocking the full potential of high-density surface EMG: novel non-invasive high-yield motor unit decomposition	スウェーデン /Chalmers University of Technology等	高密度sEMGから運動単位を高精度に分離する新手法SCDを提案。動的コントラスト最適化とPeel-off戦略により、分離MU数を従来法の約2～3倍に増加。深層・微小MU検出にも成功。	- ユーザー間の個体差へのモデル適合 - 動的運動・姿勢変化を伴う実環境への適用 - リアルタイム性、及び計算負荷軽減の両立、など
②遠隔治療	Model Mediated Teleoperation with a Hand-Arm Exoskeleton in Long Time Delays Using Reinforcement Learning	ドイツ/ German Aerospace Center等	長時間通信遅延下の遠隔操作に対し、Model Mediated Teleoperation (MMT) にDMPと強化学習 (RL) を統合。操作者は仮想環境から即時の視覚・触覚フィードバックを得つつ、実環境側の遅延を吸収。外骨格+ARを用いた把持実験で、遅延下でも作業成功率と操作透明性を確保できることを示した。	- 仮想モデルの再現精度向上 - 学習更新回数増加によるリアルタイム性・計算負荷、など

①筋電義肢の多関節動作： EUでは、高密度EMGや神経信号を用いた運動意図の高精度推定と、運動単位レベルでの信号分離・解釈に基づき、触覚・運動感覚・動作を統合した神経—ロボット融合を志向している。深層学習や適応的信号処理を活用しつつ、個人差や筋状態変化、長期使用を考慮した制御の安定性と再現性の確保を重視している。

②遠隔治療： 通信遅延やノイズ、不確実な環境条件を前提に、モデル媒介制御や共有自律を用いて操作者負担を低減し、安全かつ直感的な操作を実現する研究が進展している。遠隔医療での実装を見据え、リアルタイム性と頑健性を両立させる制御設計や、環境変化への適応能力の向上が重視されている。

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2B-1-2-3-4. 海外の動向 国別の取組み／研究開発の担い手と役割（EU）

EUにおける医療ロボット技術関連の研究開発について、研究を担う中核的な組織の役割と分担構造に着目して整理し、各組織が担う研究の性格（基礎理論・評価・実証・実装支援）を明確化した。

組織区分	中核組織	主な役割	代表的な研究・プログラム例	主に生み出される研究成果
標準・評価機関	European Commission	医療機器ソフトウェアの クラス分類、安全設計、適合要件を整理 。 遠隔操作・AI支援型医療ロボットも対象	・MDCGガイダンス	医療ロボットの安全要件、設計・評価指針
	European Commission	医療用途AIを ハイリスクAI として位置付け、リスク管理・データ品質・説明責任・人の監督を制度化	・EU AI Act	AI品質管理要求、透明性・説明責任要件
	European Commission	医療AI・医療ロボットを 実環境に近い条件で試験・検証するための実証基盤を整備	・Testing and Experimentation Facilities for AI	実環境検証データ、制度適合知見
学術研究機関	EU域内大学・研究機関	医療ロボットに関する 基礎～応用研究・技術実証 を担う。筋電義肢、触覚FB、遠隔操作、AI制御等を重点	・sEMG義手制御研究 ・遠隔医療ロボット研究	実証論文、PoC、アルゴリズム・設計知見
助成機関	European Commission	医療・ケア分野を含む AI・データ・ロボティクス研究への重点投資 。意思決定支援、遠隔医療、支援ロボット等を対象	・Horizon Europe	医療AI・ロボットの基盤技術、実証データ、PoC

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2B-1-2-4-1. 海外の動向 国別の取組み／戦略文書（中国）

中国において、医療ロボット技術に関する研究開発の方向性や設計思想を規定している主な戦略文書について整理した。国家として医療ロボット技術をどのような位置づけで捉え、どのような技術的方向性を志向しているかに着目した。

文書名	主体	位置付け・主旨	研究開発の方向性（要点）
「十四五」国家応急体系規画	State Council of the People's Republic of China	防災減災・安全生産・応急救援を統合した国家レベルの上位戦略計画。統一指揮・迅速対応型の応急管理体系の近代化を目指し、災害対応能力の体系的強化を提示	災害監視・早期警戒、応急通信・指揮基盤、専門救援装備の高度化を推進し、科技・情報化や無人化装備の活用を通じて危険環境対応能力と現場救援効率の向上を図る。
応急産業発展に関する指導意見	State Council of the People's Republic of China	応急装備・技術・サービスを国家の新興産業として育成するための産業政策・上位方針。災害対応能力の向上と産業発展の両立を目的に、応急産業の体系的推進を示す戦略的指導文書	応急装備・救援技術の研究開発、標準化、産業集積、企業育成を推進し、危険環境対応装備や救助技術の高度化を通じて防災・応急分野の技術基盤強化と市場形成を促進。
The 14th Five-Year Plan for the Protection and Development of Persons with Disabilities	State Council of the People's Republic of China	障害者の社会保障・医療・リハビリ・就労支援を総合的に推進する国家計画。無障害社会の構築と生活の質向上を目的に、公共サービスの高度化と包摂的社会の実現を目指す政策文書	リハビリ技術、補助機器、スマート支援機器などの開発と情報化の活用を推進し、医療・介護支援の高度化や生活支援ロボット等の応用拡大を通じて支援サービスの質向上を図る。

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2B-1-2-4-2. 海外の動向 国別の取組み／政策・施策（中国）

中国における医療ロボット技術に関する主な政策・施策を下表に整理した。

ここでは、研究開発の成果が標準化、調達要件、運用ルール等を通じてどのように具体化してきたかに着目し、制度や運用として現れている状況に着目した。

区分	内容
① 戦略文書・ロードマップ（中長期の方向性）	“Robot +” application action implementation plan（Ministry of Emergency Response等）：重点分野でのロボット実装を加速する国家アクションプラン。医療分野では手術支援、リハビリ、遠隔医療、院内物流・消毒ロボット等の導入促進を通じ、医療サービスの効率化と安全性向上、産業基盤強化を図る方針を標榜。 - Action Plan for the Development of the Smart Health and Elderly Care Industry (2021–2025)：高齢化社会に対応するため、AI・IoT・ビッグデータ等を活用した健康・介護サービスの高度化を推進する国家アクションプラン。健康管理機器、リハビリ支援機器、外骨格ロボットや家庭サービスロボットの開発・実装を促進し、遠隔医療やデータ基盤整備、標準化を通じてスマート医療・介護産業の成とサービス品質向上を目指す。
② 標準化・規制スケジュール（優先度が表れる場所）	- Regulations on the Supervision and Administration of Medical Devices（State Council of the People’s Republic of China）：高リスク医療機器（手術ロボット含む）の登録審査強化、臨床評価の厳格化。 「インターネット診療管理办法」「インターネット医院管理办法」「遠程医療サービス管理規範」（National Health Commission State Administration of Traditional Chinese Medicine）：オンライン診療や遠隔医療の運用ルールを規定。医療の効率化とアクセス向上と診療品質・安全性の確保や医療機関主体の運用との両立を求め、遠隔医療の標準化と適正管理を推進。
③ 公的R&Dプログラム（投資＝将来課題の“優先投票”）	“Digital Diagnosis and Treatment Equipment R&D” project（Ministry of Science and Technology）：多孔隙鏡手術等を想定し、国産手術支援ロボットの設計・開発や臨床応用に向けた実証等を実施。核心部品や制御技術の開発、臨床試験・産業化を通じて医療ロボットの実用化と国際競争力強化を目指す。 - Key Projects of “Diagnosis and Treatment Equipment and Biomedical Materials”（Ministry of Science and Technology）：診療装置や医療ロボット、生体医用材料の核心技術開発を推進する国家重点R&Dプロジェクト群。臨床ニーズに基づく医療機器の高度化、実証、産業化を通じて医療技術の自立化等を目的とする。
④ 議会・審議・白書など	—
⑤ 調達・義務化動向	—

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2B-1-2-4-3. 海外の動向 対象テーマの領域における主な研究論文（中国）

①～②の各テーマを代表する研究論文を下表に整理した。各論文が示す技術的貢献と、実用化に向けて指摘されている主な課題を整理することで、今後の研究開発や制度・実装との接続を検討する際の基礎情報とする。

関連技術	論文名	国／機関	概要	実用化課題
①筋電義肢の多関節動作	i-MYO: A Hybrid Prosthetic Hand Control System based on Eye-tracking, Augmented Reality and Myoelectric signal	中国/Harbin Institute of Technology等	筋電信号で義手の開閉を制御し、筋電制御＋視線追跡＋AR上で把持タイプを選択するハイブリッド制御「i-MYO」を提案。初心者や筋電信号が弱い患者でも直感的に多様な把持が可能で高成功率を実証。	各センサシステム間の同期遅延・干渉、など
	From Unimodal to Multimodal: Improving sEMG-Based Pattern Recognition via Deep Generative Models	中国/Nanjing University of Science and Technology	sEMG信号からGAN系深層生成モデルで仮想IMU信号を生成し、追加センサ無しでマルチモーダル筋電ジェスチャ認識を実現する手法を提案。CNN融合モデルにより認識精度を向上させ、義肢制御やリハビリ向け低コスト筋電インタフェースの可能性を示した。	- 解釈性の不足（ブラックボックス問題） - 個人差・筋疲労によるsEMG非定常性への耐性・実環境ノイズ下での安定性検証不足 - リアルタイム推論時の計算負荷、など
②遠隔治療	Human-Robot Shared Control for Surgical Robot Based on Context-Aware Sim-to-Real Adaptation	中国/Shanghai Jiao Tong Universityなど	手術状況をCNNで認識し、作業フェーズに応じて人間操作とロボット自律動作の寄与割合をリアルタイムに変化させる共有制御手法を提案。安全性が求められる場面では人間主導、反復的・安定動作ではロボット主導へと動的に切替え、操作負担の軽減と作業効率向上をdVRK実験で検証した。	- 実臨床環境での安全性・責任分担の検証不足 - 手術文脈認識AIの誤判定リスク - リアルタイム処理負荷など
	Ultra-remote robot-assisted right upper lobectomy between the Shanghai and Kashi Prefectures: a case report	中国/Shanghai Jiao Tong Universityなど	5G専用通信網と高精細映像伝送、da Vinci手術支援ロボットを組み合わせ、約5,000km離れた拠点間で遠隔肺葉切除を実施。低遅延ネットワーク制御とマスター・スレーブ型操作系により精密手技を実現し、遠隔外科における通信安定性・操作再現性・現地支援体制の重要性を検証した。	- 単例症例であり大規模臨床データ不足 - ネットワーク遅延 - 通信品質への強い依存、など

①筋電義肢の多関節動作：中国では、sEMGに加え視線追跡やAR、GAN生成モデル等を統合し、多モーダル融合による高精度把持制御を志向。深層学習を中核に、直感的操作と高成功率の実証を重視している。

②遠隔治療：5G通信基盤と共有制御AIを活用し、数千km級の超遠隔手術を実証。低遅延ネットワークと高度画像伝送を前提に、臨床適用拡大と大規模社会実装を加速させている。

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2B-1-2-4-4. 海外の動向 国別の取組み／研究開発の担い手と役割（中国）

中国における医療ロボット技術関連の研究開発について、研究を担う中核的な組織の役割と分担構造に着目して整理し、各組織が担う研究の性格（基礎理論・評価・実証・実装支援）を明確化した。

組織区分	中核組織	主な役割	代表的な研究・プログラム例	主に生み出される研究成果
戦略・政策立案機関	国务院（State Council）	医療DX・応急医療・高齢者ケア・リハビリ分野の国家重点方向設定	ケア・リハビリ分野の国家重点方向設定 第14次五カ年計画（障害者保護・応急体系計画等）	国家重点分野、産業化方針
	応急管理部（MEM）／工業情報化部（MIIT）	「Robot+」行動計画等で医療・応急ロボット導入促進、産業高度化	Robot+ Application Action Plan	導入拡大政策、実装ロードマップ
標準・評価機関	National Health Commission State Administration of Traditional Chinese Medicine	医療機器（手術ロボット含む）の登録審査・臨床評価・安全管理	医療機器監督管理条例	登録制度、臨床評価基準
学術研究機関	国内大学・研究機関	EMG×視線×AR統合による義手制御高度化、sEMG×GAN深層生成モデルによる動作推定高度化など	i-MYO研究、マルチモーダルEMG研究、ハイブリッド義手制御アルゴリズム、筋電信号解析	
助成機関	科学技術部（MOST）	医療ロボット・デジタル診断機器の重点研究投資	Digital Diagnosis and Treatment Equipment R&D	実証型医療ロボット、制御基盤技術

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2B-1-2-5-1. 海外の動向 国別の取組み／戦略文書（英国）

英国において、医療ロボット技術に関する研究開発の方向性や設計思想を規定している主な戦略文書について整理した。国家として医療ロボット技術をどのような位置づけで捉え、どのような技術的方向性を志向しているかに着目した。

文書名	主体	位置付け・主旨	研究開発の方向性（要点）
Smart Machines Strategy 2035	Department for Science, Innovation & Technology	英国が2035年までにロボティクス・自律システム（RAS）分野で世界的リーダーとなることを目指す国家戦略。経済成長、生産性向上、公共サービス高度化、国家レジリエンス強化を目的に、研究開発・実証・規制整備・人材育成を統合的に推進	AI統合型ロボティクス・自律システムの社会実装を加速。製造、物流、インフラ、医療・介護等への展開を促進。公共調達・実証環境（Living Labs）を活用し導入障壁を低減。安全性・標準化・倫理枠組み整備を重視。但し、医療機器は応用分野の一つとして言及されているものの、筋電義肢や遠隔治療ロボットを個別重点化する記載は無い。
Life Sciences Sector Plan	UK Government	英国産業戦略の重点としてライフサイエンスの競争力強化と成長促進を図る国家計画。研究・実証・製造を一体化し、NHS活用と規制改革により国際競争力と供給安定性を高める	創薬・先端治療（細胞・遺伝子治療）、ワクチン、ゲノミクス、データ駆動型医療を重点化。臨床試験迅速化、規制合理化、製造能力拡張を推進。AI・デジタル技術の医療応用を加速するが、筋電義肢や遠隔治療ロボットを個別重点分野として明示する記載は無し。医療機器・デジタルヘルスの枠内で包含的に扱う構造。
10 Year Health Plan for England: Fit for the Future	UK Government	NHSの持続可能性確保と医療サービス近代化を目的とする中期医療改革戦略。予防医療の強化、デジタルヘルス・AI活用による診断高度化・業務効率化を推進。地域医療の拡充、デジタル化推進、データ統合基盤整備、遠隔医療の拡充、診療プロセスの自動化を人材確保を柱とし、生産性向上と患者アクセス改善を図る。医療提供体制の構造改革を通じて将来の需要増に対応する	重視。筋電義肢や遠隔治療ロボットを個別重点分野として明示する記載は無いが、医療機器・デジタル医療等を包括的に扱う。

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2B-1-2-5-2. 海外の動向 国別の取組み／政策・施策（英国）

英国における医療ロボット技術に関する主な政策・施策を下表に整理した。

ここでは、研究開発の成果が標準化、調達要件、運用ルール等を通じてどのように具体化してきたかに着目し、制度や運用として現れている状況に着目した。

区分	内容
① 戦略文書・ロードマップ（中長期の方向性）	• UKRI strategic themes (UKRI) : 研究開発投資の重要テーマとして、“Building a green future”、“Creating opportunities, improving outcomes”等に加え、デジタルヘルス等に関連する内容を含む“secure better health, ageing and wellbeing for everyone”を設定。 • EPSRC Health Technologies Strategy : 工学・データ科学を基盤に医療機器、デジタルヘルス、ロボティクス等の研究を強化し、NHSや産業界と連携して臨床実装を加速する戦略。学際融合と人材育成を通じ、英国の健康技術分野の国際競争力向上を目指す。
② 標準化・規制スケジュール（優先度が表れる場所）	• The Medical Devices Regulations 2002（2025年改正） : 英国における医療機器の製造・輸入・販売を規制する基本法規。安全性・性能の必須要件、適合性評価手続、表示・登録、上市后監視、臨床評価等を定める。 • AI regulation: a pro-innovation approach (Department for Science, Innovation& Technology) : 既存の規制を基盤にAI原則（安全性・透明性・説明責任等）を適用する柔軟型枠組みを提示。標準化やガイドラインを活用し、イノベーション促進と患者安全確保の両立を図る方針を示す。
③ 公的R&Dプログラム（投資＝将来課題の“優先投票”）	• Engineering and Physical Sciences Research Council : “Healthcare technologies theme”において、工学・物理学を基盤に、医療機器、診断技術、デジタルヘルス、アシスティブ技術等の研究開発を支援するファンディングプログラムを提供。学際連携と産業・NHSとの協働を通じ、基礎研究から臨床実装までの橋渡しを促進する。 • National Institute for Health and Care Research (NIHR) : 英国国内の医療・ケア分野を対象に、臨床研究、医療機器評価、サービス改善、実装研究などを支援する資金制度群を提供。NHSと連携し、研究成果の迅速な社会実装と患者アウトカム向上を目指す。
④ 議会・審議・白書など	• 医療分野におけるAI規制の在り方に関する意見募集 : 安全性・有効性評価、透明性、責任分担、データ品質、上市后監視などの論点を整理し、既存医療機器規制やAI原則との整合を検討。
⑤ 調達・義務化動向	—

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2B-1-2-5-3. 海外の動向 対象テーマの領域における主な研究論文（英国）

①～②の各テーマを代表する研究論文を下表に整理した。各論文が示す技術的貢献と、実用化に向けて指摘されている主な課題を整理することで、今後の研究開発や制度・実装との接続を検討する際の基礎情報とする。

関連技術	論文名	国／機関	概要	実用化課題
①筋電義肢の多関節動作	Explainable AI-Powered Graph Neural Networks for HD EMG-Based Gesture Intention Recognition	英国 /University of Edinburgh等	高密度EMG信号を用い、ジェスチャ意図認識に特化した グラフニューラルネットワーク（GNN） を提案。さらに学習過程を可視化する Explainable AI（XAI） を導入し、信号特徴とモデル判断の関連を明示。従来の深層学習モデルより精度と解釈性を両立。	- 高密度電極装着時の皮膚接触一貫性 - 長時間装着時の信号変動対応 - リアルタイム処理負荷（GNN計算負荷） - 小型・低消費電力化、など
	Medium Density EMG Armband for Gesture Recognition	英国 /University of Edinburgh	従来の低密度EMGより多チャンネル（中密度）電極を用いたアームバンド型装置を開発。空間的情報量を増加させ、機械学習により手指ジェスチャ認識精度を向上。高密度ほど複雑化せず、装着性と性能のバランスを狙う設計。実験により複数ジェスチャ分類の精度改善を実証。	- 電極装着位置ずれへの耐性 - 長時間使用時の信号安定性 - 発汗・皮膚条件変動への対応 - リアルタイム処理負荷軽減 - 消費電力・小型化、など
②遠隔治療	AI solutions for overcoming delays in telesurgery and telementoring to enhance surgical practice and education	英国/King`s College London	遠隔手術の通信・処理遅延を克服する要素技術として、AIによるネットワーク最適化、エッジAI、遅延補償等を整理。触覚予測やVR補完による安全性・精度向上性を示す一方、計算負荷等を今後の課題として指摘。	- 通信遅延・ジッタへの耐性確保（変動遅延下での安定制御保証） - AI予測補償の安全設計（誤予測時のフェイルセーフ・人間優先制御）、など

①**筋電義肢の多関節動作**：英国では、HD-EMGや中密度EMGを活用し、GNNやExplainable AI（XAI）を導入することで、高精度かつ解釈可能なジェスチャ意図認識を志向。高密度化と装着性のバランスを取りつつ、臨床応用可能な義肢制御の実装性向上を重視している。

②**遠隔治療**：通信遅延を克服するため、AI予測補償やエッジ処理を活用した遠隔手術技術を研究。安全設計（フェイルセーフ・人間優先制御）と通信安定性確保を前提に、テレサージェリー／テレメンタリングの実装可能性を高めている。

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2B-1-2-5-4. 海外の動向 国別の取組み／研究開発の担い手と役割（英国）

英国における医療ロボット技術関連の研究開発について、研究を担う中核的な組織の役割と分担構造に着目して整理し、各組織が担う研究の性格（基礎理論・評価・実証・実装支援）を明確化した。

組織区分	中核組織	主な役割	代表的な研究・プログラム例	主に生み出される研究成果
戦略・政策立案機関	UK Government / Department for Science, Innovation & Technology (DSIT)	医療ロボット・デジタルヘルスを国家成長戦略・健康政策の一部として位置付け。AI・ロボティクスの社会実装、NHSの医療サービス高度化・効率化を目的とした研究開発方向を提示	Smart Machines Strategy 2035 / Life Sciences Sector Plan / 10 Year Health Plan for England	AI統合医療システム、遠隔医療・デジタルヘルス基盤、医療ロボットの社会実装方針
標準・評価機関	UK Government（医療機器規制当局・DSIT等）	医療機器・AI医療システムの安全性・性能評価、登録・監視制度の整備。AI医療機器の規制枠組みを提示し、イノベーション促進と患者安全の両立を図る	The Medical Devices Regulations 2002（2025改正） / AI regulation: a pro-innovation approach	医療機器安全規格、AI医療機器の規制・評価枠組、臨床評価制度
学術研究機関	国内大学等	筋電義肢制御、HD-EMG信号解析、遠隔手術支援など医療ロボットの基盤技術研究を実施。AI・機械学習を用いた高精度信号解析や遠隔医療技術の高度化を推進	Explainable AI-Powered GNN for HD-EMG Gesture Recognition / Medium Density EMG Armband / AI solutions for telesurgery delay mitigation	高精度筋電信号解析、Explainable AIによる意図認識、遠隔手術支援AI・通信最適化技術
助成機関	UKRI（Engineering and Physical Sciences Research Council） / NIHR（National Institute for Health and Care Research）	医療機器・デジタルヘルス・医療ロボティクスの研究開発を資金面から支援。大学・産業・NHS連携により基礎研究から臨床実装までの橋渡しを推進	UKRI strategic themes / EPSRC Healthcare Technologies theme / NIHR research funding programmes	医療ロボット・医療AIの研究基盤、臨床実証、医療機器の社会実装支援

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2B-1-2-6-1. 海外の動向 国別の取組み／戦略文書（日本）

日本において、医療ロボット技術に関する研究開発の方向性や設計思想を規定している主な戦略文書について整理した。国家として医療ロボット技術をどのような位置づけで捉え、どのような技術的方向性を志向しているかに着目した。

文書名	主体	位置付け・主旨	研究開発の方向性（要点）
健康・医療戦略	内閣官房	日本の健康・医療分野における最上位の国家戦略。研究開発から社会実装、産業振興、国際展開までを統合的に推進し、データ活用・AI・先端医療技術を軸に持続可能な医療提供体制の構築を目指す	AI・データ基盤、先端医療機器・医療ロボット、遠隔医療、創薬・再生医療等の重点分野を横断的に推進。8つの統合プロジェクトを通じて基礎研究から実用化・社会実装までを一体化し、医療DXと産業競争力強化を図る。
第6期科学技術・イノベーション基本計画	内閣府	日本の科学技術政策における最上位の国家基本計画。Society 5.0の実現を掲げ、社会課題解決と経済成長を両立する科学技術・イノベーション政策の方向性を示す戦略文書	AI・データ連携、医療・ヘルスケア、レジリエンス、防災、安全保障などの分野を横断し、サイバーとフィジカルの融合による価値創出を推進。研究力強化、社会実装、産業創出を一体的に進め、医療DXやロボット技術の社会実装基盤を整備。

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2B-1-2-6-2. 海外の動向 国別の取組み／政策・施策（日本）

日本における医療ロボット技術に関する主な政策・施策を下表に整理した。

ここでは、研究開発の成果が**標準化、調達要件、運用ルール等**を通じてどのように具体化してきたかに着目し、制度や運用として現れている状況に着目した。

区分	内容
① 戦略文書・ロードマップ（中長期の方向性）	- 医療分野研究開発推進計画（内閣官房）：日本医療研究開発機構（AMED）を中心に基礎研究から実用化までを一体的に推進し、8つの統合プロジェクト（医療機器・ヘルスケアプロジェクトなど）を軸に重点施策を展開する計画。 - 第2期医療機器基本計画（厚生労働省）：「高齢者等の身体機能の補完・向上に関する医療機器」「医療従事者の業務の効率化・負担軽減に資する医療機器」等を化研究開発を推進する重点分野として指定。
② 標準化・規制スケジュール（優先度が表れる場所）	- 医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律：医療機器の品質・有効性・安全性の確保に向け、承認審査製造販売許可、品質管理、臨床評価等について規定。手術支援ロボットやリハビリロボットなどの医療ロボットも対象であり、開発から実用化後までの安全確保と適正使用を図る枠組みを定めている。 - 各種医療機器プログラム（SaMD）の認証基準（厚労省、PMDA）：類型ごと、対象疾患ごとに承認実績が存在するSaMDについて早期に登録認証機関による認証に移行するよう、産業界の協力も得つつ、認証基準の策定及び改正を実施。 例）呼吸装置治療支援プログラム認証基準
③ 公的R&Dプログラム（投資＝将来課題の“優先投票”）	- ムーンショット型研究開発制度（CAO）：日本発の破壊的イノベーションの創出を目指し、従来技術の延長にない、より大胆な発想に基づく挑戦的な研究開発（ムーンショット）を推進する大型研究プログラム。「目標7:健康不安なく100歳まで」の下で、「不可を感じずにQoLの劇的な改善を実現」の一貫で義手・義足等の開発を推進。 - 医療機器等研究成果展開事業（AMED）：AIやデータを活用した診断、低侵襲の診断・治療機器等の革新的・独創的な多様な技術シーズの基礎・応用研究開発を支援。 - 医療機器開発推進研究事業（AMED）：実用化への見込みが高い医療機器等について、治験・臨床研究等を支援。
④ 議会・審議・白書など	—
⑤ 調達・義務化動向	—

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2B-1-2-6-3. 海外の動向 対象テーマの領域における主な研究論文（日本）

①～②の各テーマを代表する研究論文を下表に整理した。各論文が示す技術的貢献と、実用化に向けて指摘されている主な課題を整理することで、今後の研究開発や制度・実装との接続を検討する際の基礎情報とする。

関連技術	論文名	国／機関	概要	実用化課題
①筋電義肢の多関節動作	運動組織化と反射機能の電子化による筋電義手操作性の向上	日本/北海道大学など	筋電信号の高精度解析と深層学習を活用し、義手の把持動作推定精度向上を目指す研究。個人差・疲労変動を考慮した適応型制御モデルを構築し、実環境適用性を検証。	• 個体差・長期使用時の信号変動への耐性 • リアルタイム処理負荷 • 装着性・電極安定性の確保、など
	筋電義手の社会実装研究	日本/電気通信大学など	筋電信号を用いたロボット／義手制御技術について、機械学習を活用した動作識別手法を提案。複数センサ統合により識別精度と操作性の向上を図り、実験的有効性を示した。	• ブラックボックス化するAIの解釈性 • 実使用環境ノイズへの耐性 • 長時間装着時の安定動作 • 小型・低消費電力化、など
②遠隔治療	Social implementation of a remote surgery system in Japan: a field experiment using a newly developed surgical robot via a commercial network	日本/九州大学	150km離れた病院間を商用光回線で接続し、国産手術ロボットによる遠隔操作実験を実施。通信遅延（RTT4～10ms）、Glass-to-glass約92msで安定動作を確認し、商用回線下での遠隔手術社会実装の実現可能性を検証。	• 通信帯域確保（最低10Mbps以上推奨） • 通信冗長化（バックアップ回線）設計長距離（数百～数千km）での遅延評価 • サイバーセキュリティ確保

①**筋電義肢の多関節動作**：日本では、筋電信号の高精度解析と深層学習を活用し、個人差や疲労変動に適応する制御モデル構築を重視。実環境適用性や長期使用時の安定性検証など、社会実装を見据えた堅牢化に注力している。

②**遠隔治療**：商用回線を用いた実証を通じ、通信遅延・帯域制約下でも安全に遠隔操作可能な制御設計を検証。リアルタイム性と冗長性確保、サイバーセキュリティ対策を重視し、段階的社会実装を志向している。

2-1. 災害・医療用ロボット技術

2B-1-2-6-4. 海外の動向 国別の取組み／研究開発の担い手と役割（日本）

日本における医療ロボット技術関連の研究開発について、研究を担う中核的な組織の役割と分担構造に着目して整理し、各組織が担う研究の性格（基礎理論・評価・実証・実装支援）を明確化した。

組織区分	中核組織	主な役割	代表的な研究・プログラム例	主に生み出される研究成果
戦略・政策立案機関	内閣官房／内閣府	健康・医療戦略および科学技術基本計画により医療DX・医療ロボットの国家重点方向を提示	健康・医療戦略、第6期科学技術・イノベーション基本計画	国家重点分野設定、医療DX推進方針
標準・評価機関	厚生労働省／PMDA	医療機器の承認審査・安全規制、SaMDや手術支援ロボットの評価基準整備	医薬品医療機器等法、SaMD認証基準	承認制度、臨床評価基準
学術研究機関	国内大学・研究機関	筋電義肢、遠隔医療ロボットの研究開発	筋電義肢の信号解析精度向上、遠隔治療における低遅延ネットワークの利用	筋電信号解析技術、など
助成機関	AMED	基礎研究から実用化まで一貫支援。医療機器・医療ロボットの橋渡し研究推進	医療分野研究開発推進計画、医療機器開発推進研究事業	実証データ、臨床研究成果
	内閣府	破壊的医療技術創出を目的とした大型研究投資	ムーンショット型研究開発制度	革新的診断・低侵襲治療技術

2. 各技術領域における検討

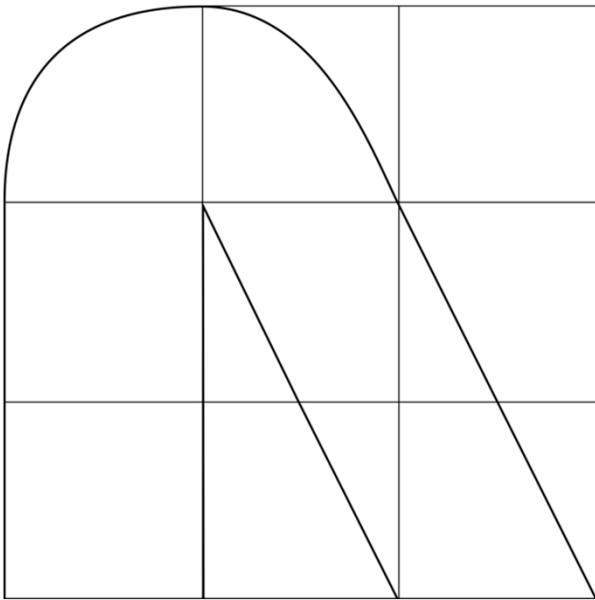
2-1. 災害・医療用ロボット技術

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-3. 本人確認・認証システム

2-4. ドローン検知・対処技術

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）



2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-2-1-1. ユースケースの整理（非常時のユースケース）

非常時や過酷環境下（海中・極地・閉塞環境）で用いる電源技術のうち、安全保障の観点を含んだユースケースを洗い出した。

分類	ユースケース例	ユースケースの説明
防衛	高出力レーザー等向けピーク電源	レーザー・指向性機器の瞬間大電力を供給。平均電力は小さく応答速度とパルス安定が要。高出力密度と冷却が特徴。
	戦略拠点の「燃料レス」抗堪性強化	現在の基地運営はディーゼル発電機に依存。LDESの導入により外部からの補給なしで戦い続ける能力を向上させる。
災害対応/ 公共サービス 向け分散電源	高機動発電・蓄電 （HEMS/LV microgrid統合）	被災現場で素早く立ち上げる小規模電源群。配電・負荷を低圧で柔軟制御。展開・撤収の速さと運用簡便性が特徴。
	多拠点電源	分散配置の可搬蓄電を群制御で最適配電。需要地へ動的再配置可能。オーケストレーションと通信信頼性が要。
	可搬／コンテナ型大型BESS	迅速展開できる中規模蓄電。系統外でも即応給電。輸送性・安全規格・並列運用の容易さが特徴で汎用性が高い。
	広域避難拠点・医療物流の長期電源	震災等で電力網と道路網が同時に寸断された場合でも、病院や避難所を1週間単位で維持できる電源の確保が可能。
	緊急淡水化／給水拠点電源	RO・UV殺菌等の連続運転を支える。水質確保のため出力安定と塩害耐性が鍵。水生産量あたりの電力効率が重要。

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-2-1-1. ユースケースの整理（過酷環境下のユースケース）

（続き）

分類	ユースケース例	ユースケースの説明
水中/海洋利用	長期無人観測電源	保守間隔を極小化し長期連続運転。微小負荷の効率と自己放電の低さが要。遠隔・極地用途で高信頼が差別化点。
	救難艦・拠点の船上マイクログリッド	船内発電と蓄電の統合で医療・曳航・通信を維持。波浪・塩害・振動下の信頼性が必須。港外での自律性が特徴。
	海底観測網・ケーブル中継の非常用電源	海底機器の再起動・保護用バックアップ。高圧・水密・長寿命が要件。保守困難なため故障率極小と遠隔監視が重要。
	通常動力潜水艦の主電源	静粛性と長時間潜航を両立。高出力充放電と安全冗長が必須。燃料電池AIP併用で補給間隔を拡大する点が特徴。
遠隔/孤立拠点での利用	極地／離島基地の独立電源	補給困難地で長期安定給電。低温・強風・塩害への耐性と低保守が要。高エネルギー密度と自律運転が他と異なる。

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-2-1-2. ユースケースに紐づく将来技術の一例（1/2）

各ユースケースにおいて活用される将来技術を下表に整理した。特に注目すべき技術キーワードを10個選定した（太字箇所、次頁に概要整理）。

カテゴリ	ユースケース	将来技術キーワード
防衛	高出力レーザー等向けピーク電源	GaN/SiCパワーエレクトロニクス 、 グリッドフォーミングインバータ 、二相冷却・熱拡散
	戦略拠点の「燃料レス」抗堪性強化	移動式マイクロ原子炉、高効率ペロブスカイト太陽電池、AI自立復旧マイクログリッド
災害対応/ 公共サービス	高機動発電・蓄電	プラグ&プレイ双方向PCS 、可搬BESSモジュール、クイックコネクタ標準化
	多拠点電源	SOC/SOHデジタルツイン 、モバイルBESS群制御、V2X/双方向充放電
	可搬／コンテナ型BESS	液浸冷却BESS 、マルチストリングPCS、NFPA855/UL9540A準拠安全設計
	広域避難拠点・医療物流の長期電源	アンモニウム-空気電池 、水素・アンモニアオンサイト発電、V2Xメッシュ
	緊急淡水化／給水拠点電源	高効率RO膜、VFD/ソフトスタート制御、膜劣化予測AI
水中/海洋利用	長期無人観測電源	原子力電池（RTG/ベータ） 、超低自己消費DC/DC、遠隔覚醒・デューティ制御
	救難艦・拠点の船上マイクログリッド	ソリッドステート遮断器 、MVDC配電、PMS電力管理・負荷シェディング
	海底観測網・ケーブル中継の非常用電源	圧力耐性Li-ion/一次セル、湿式（wet-mate）コネクタ、誘導結合給電
	無人潜水機（UUV/AUV）の長航続電源	高エネ密度Li-S/圧力耐性Li-ion、PEM燃料電池レンジ延長、誘導ドック充電
	通常動力潜水艦の主電源	高安全LIB 、AIP（PEMFC/Stirling）、低雑音MVDC配電
遠隔/孤立拠点での利用	極地／離島基地の独立電源	SMR/マイクロ原子炉 、NH ₃ →H ₂ クラッカー

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-2-1-2. ユースケースに紐づく将来技術の一例（2/2）

注目すべき10個の技術キーワードについて、技術概要と技術の重要性を整理した。

技術キーワード	技術概要	重要性
GaN/SiCパワーエレクトロニクス	ワイドバンドギャップ半導体による高周波・高効率電力変換。インバータ/コンバータ/充放電器に適用。	変換効率・出力密度・耐圧/高温性を改善し、電源の小型軽量化と損失低減を牽引。
グリッドフォーミング・インバータ	インバータ側で仮想同期機能を持ち、系統非依存で電圧/周波数基準を生成。マイクログリッドの島運転・再連系を安定化。	停電時でも自律的に周波数・電圧を形成し、ブラックスタートと分散系の復旧力を底上げする中核。
プラグ&プレイ双方向PCS	専門知識不要で再エネや蓄電池を即座に接続、双方向に電力を変換する装置。状況に応じ柔軟に電源を構成可能。	被災時等に多様な電源を即座に束ねて電力網を構築できる。システムの拡張性とレジリエンス確保に不可欠。
静音PEM燃料電池	固体高分子膜を用いた低温作動FC。起動性・部分負荷効率が高く、BESSと組み合わせで連続給電に最適。	医療・前線・海中など静粛性重視環境で高効率発電。燃料多様化（H ₂ /NH ₃ 由来）で補給性も向上。
SOC/SOHデジタルツイン	センサーデータ×モデルでSOC/SOHを高精度推定。劣化予測、異常検知、運用最適化をリアルタイム実行。	予兆保全で可用性・安全マージン・寿命を最大化。非常時の残量推定精度が継戦能力を左右。
液浸冷却BESS	セル/モジュールを不燃性液体に浸し、均一冷却と安全性向上を両立。高クレート対応・高密度化に有効。	大容量蓄電の熱暴走・劣化を抑えつつ高出力化。占有面積削減と寿命延伸でTCOを改善。
アンモニウム-空気電池	アルミと酸素の反応で発電する高密度電池。注水で発電を開始し、乾燥状態なら長期間劣化せず保存できる。	数週間単位の長期バックアップに最適。希少金属不要で、国内資源のアルミを活用できるため供給不安がない。
ソリッドステート遮断器（SSD）	半導体スイッチでμs級遮断を実現。アークなし、可視化・遠隔制御が容易。DC配電やBESSに適用。	直流系や高応答が必要な電源で選択遮断と安全性を飛躍。火災・連鎖故障のリスクを抑制。
原子力電池（RTG/ベータ）	u-238等の崩壊熱→熱電素子（TEG）で直流発電。数十年スケールで出力維持。遮蔽・放熱・封止を一体設計。	超長寿命・無補給のW～百W級電源で、極地・深海・無人観測の可用性を飛躍。可動部なしで高信頼。
高安全LIB	不燃系電解質や熱安定設計で熱暴走リスクを低減。高クレート対応や長寿命化を狙うセル/材料技術。	クリティカル用途に必要な高エネルギー密度と安全性・長寿命を両立。国産サプライ網整備の要。
SMR/マイクロ原子炉	工場で小型炉をモジュール製造し輸送・据付。受動安全で省人運転し、数MW～数百MWを分散配置できる原子炉。	重要拠点の分散電源となり災害・有事でも継続。燃料在庫で輸入依存を下げ、供給網と技術主導権が鍵。

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-2-1-3. ユースケースの評価

各ユースケースについて、優先度・重要度の観点で評価した。

技術類型	ユースケース	優先度		影響度	
		代替不可性	自律性 (レジリエンス)	技術革新性	市場拡張性 (デュアルユース)
防衛	高出力レーザー等向けピーク電源	高	高	高	高
	戦略拠点の「燃料レス」抗堪性強化	高	高	中	中
災害対応/ 公共サービス	高機動発電・蓄電	高	高	高	高
	多拠点電源（群制御）	高	高	高	高
	可搬/コンテナ型大型BESS	中	高	低	高
	広域避難拠点・医療物流の長期電源	中	高	低	高
	フィールド病院・臨時医療拠点電源	中	中	低	中
	緊急淡水化/給水拠点電源	中	中	低	中
水中/海洋 利用	長期無人観測電源	高	高	高	中
	救難艦・拠点の船上マイクログリッド	中	中	中	中
	海底観測網・ケーブル中継の非常用電源	高	高	低	低
	通常動力潜水艦の主電源	高	高	中	低
遠隔/孤立 拠点での利用	極地離島基地の独立電源	高	高	中	中

防衛以外に、鉄道や送電インフラ、半導体・先端製造に用いるピーク電源として再定義

可搬性の高いエネルギー貯蔵システム関連技術とその制御等の周辺技術は、優先度と影響度どちらも高いため、1つのテーマとして統合

水中・海洋や遠隔理での利用といった優先度が高いユースケースについて、横断的な転用が可能な「長期電源としての原子力技術」として抽出

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-2-1-4. 優先度評価の定義（1/2）

優先度（代替不可性）

区分	定義	主な判断基準
高（High）	他に手段がなく、その技術がなければ機能・運用が成立しない	- 特有の極限性能が必要で、代替技術が存在しない - 運用停止や欠如がミッションの完全な失敗に直結する - 国内外を問わず、同等の性能を持つ代替品が皆無
中（Medium）	代替手段はあるが、性能低下や多大な調整が必要となる	- 既存技術でも代用可能だが、重量・コスト・効率が著しく悪化する - 代替にあたって大規模なシステム改修や運用の見直しを要する - 市場に類似品はあるが、信頼性や適合性に懸念がある
低（Low）	既存の汎用技術や市販品で十分にカバー可能である	- 一般的な民生品や標準技術の組み合わせで目的を達成できる - 代替による性能低下が軽微、または許容範囲内である - 複数の供給源があり、容易に切り替えが可能

優先度（自律性(レジリエンス)）

区分	定義	主な判断基準
高（High）	外部供給なしで長期間稼働し、供給網が完全に国内で完結する	- 燃料補給なしで数ヶ月～年単位の自律稼働が可能（例：SMR、LDES） - 原材料から製造まで国内または信頼できる同盟国で完結している - 地政学的リスクによる供給途絶の影響をほぼ受けない
中（Medium）	定期的な補給を要するが、供給ルートや備蓄でリスクを制御可能	- 数日～数週間程度の自律稼働が可能だが、継続には補給が必要 - 一部の主要部品や材料に特定国への依存があるが、代替先を確保中 - サプライチェーンの脆弱性に対し、一定の防護策が講じられている
低（Low）	外部インフラに完全に依存し、供給網のリスクが高い	- 系統電力や頻繁な燃料補給が前提であり、遮断されると即停止する - 原材料や重要部品を特定国（懸念国等）の供給に全面的に依存している - サプライチェーンが不透明で、不測の事態に対応できない

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-2-1-4. 影響度評価の定義（2/2）

影響度（技術革新性）

区分	定義	主な判断基準
高（High）	物理的限界や従来技術の常識を覆す飛躍的な進化を伴う	- エネルギー密度や出力、寿命などが従来比で数倍～桁違いに向上する - 新たな原理や未踏の材料（例：ペロブスカイト、核融合）を導入する - 技術的難易度が極めて高く、先行優位性（知財・ノウハウ）を長期間維持できる
中（Medium）	既存技術の高度な改良や、新たな分野への適用・統合を伴う	- 複数の既存技術を組み合わせることで、新たな付加価値を創出する - 一定のエンジニアリング的困難はあるが、実現の見通しが立っている - 既存製品の弱点（コストやサイズ）を大幅に改善する進化
低（Low）	実証済みの既存技術の流用や、小規模な改良に留まる	- 広く普及している枯れた技術の組み合わせで構成されている - 技術的障壁が低く、模倣が容易である - 開発要素が少なく、既存のロードマップ上の定常的な進化の範囲内

影響度（市場拡張性・デュアルユース）

区分	定義	主な判断基準
高（High）	巨大な民間市場が存在し、グローバルな需要が見込める	- カーボンニュートラル（GX）や次世代モビリティなど、世界規模の課題解決に直結する - 民生転用による量産効果で劇的なコストダウンが期待できる - 国際競争力が高く、海外へのインフラ輸出（外需）の柱となり得る
中（Medium）	特定の産業分野や行政サービスでの需要が見込める	- 災害対策や遠隔地インフラなど、特定のBtoB/BtoG市場でニーズがある - 限定的ながら民生転用の実績や計画があり、市場の成長性が期待できる - 日本独自の強みを発揮できるニッチな海外市場が存在する
低（Low）	防衛等の特殊用途に限定され、民間転用や外需の余地が乏しい	- 用途が極めて専門的（クローズド）であり、民間でのニーズが想定しにくい - 輸出規制や機密保持の制約により、海外展開が現実的ではない - 市場が小さく、投資回収を民間需要に頼ることが困難

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-2-2-2-1. 海外の動向 国別の取組み／戦略文書（米国）

米国において、大規模電源技術に関する研究開発の方向性や設計思想を規定している主な戦略文書について整理した。国家として大規模電源技術をどのような位置づけで捉え、どのような技術的方向性を志向しているかに着目した。

文書名	主体	位置付け・主旨	研究開発の方向性（要点）
Department of Defense Operational Energy Strategy (2023)	国防総省	争点環境での“エネルギー確保”を、作戦遂行の中核課題として整理（供給途絶リスクを前提にした戦略）	方向性は「①需要削減 ②代替・多様化 ③サプライチェーン強靱化 ④全体可視化」のように、 電源技術単体ではなく運用・補給・情報まで含むシステム設計
DoDI 4715.28 (Military Installation Resilience, 2024/2025改定)	国防総省	“基地レジリエンス”を体系化し、エネルギーも水・インフラと並ぶ重要要素として扱う	重要ミッションのエネルギー安全保障 のため、分散電源・蓄電・ マイクログリッド併設 などをレジリエンス計画に組み込む方向
Installation Energy Plan (IEP)	国防総省	各基地が“重要負荷・脆弱性・対策”を整理する計画枠組み（実装の起点）	マイクログリッド・蓄電・分散電源を、 基地ミッション要件から逆算して設計 するプロセスを定着させる（技術選定の前に要件設計を固定）
Project Pele (Prototype Mobile Microreactor) 関連：Final EIS / Record of Decision (2022)	国防総省	前方/遠隔/過酷環境での 可搬型原子力（マイクロリアクター）実証 を進めるための公式決定・環境文書	常用ではないが決定的に効く電源として、 輸送可能・自律運転・高エネルギー密度 の方向性を制度的に前に進める（技術と運用のセット実証）
Energy Storage Grand Challenge Roadmap (2020)	エネルギー省	次世代蓄電を、国家競争力・供給網・電力システム変化への対応として横断的に加速する“総合戦略”	長時間蓄電（LDES）を含む技術開発・商用化・製造基盤・評価手法を一体で推進
Pathways to Commercial Liftoff: Long Duration Energy Storage (2023)	エネルギー省	LDESの「普及を阻む論点（コスト・性能・許認可・サプライチェーン等）」を整理し、民間投資と導入を加速する	設計思想として、技術TRLだけでなく 供給網・許認可・施工性・安全 を含む導入準備を重視

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-2-2-2-2. 海外の動向 国別の取組み／政策・施策（米国）

米国における大規模電源技術に関する主な政策・施策を下表に整理した。
ここでは、研究開発の成果が標準化、調達要件、運用ルール等を通じてどのように具体化してきたかに着目し、制度や運用として現れている状況に着目した。

区分	内容
①戦略文書・ロードマップ（中長期の方向性）	- DoD : Directed Energy Roadmap（2024）：指向性エネルギー（HEL/HPM）を重要技術として位置づけ、特にPower & Thermal Management（電源・熱）を中核課題に据えて統合・スケール・移行を整理（高出力パルス/短レンジ電源の設計思想を規定） - DoD : Operational Energy Strategy（2023）：「補給が脆弱な環境でも戦える」前提で、燃料・電力の確実な供給（assured delivery）を戦力の一部として扱い、過酷環境/災害時の電源を“運用の必須要素”に格上げ - National Strategy for Space Nuclear Power and Propulsion（SPD-6, 2020）：RPS（RTG等の“原子力電池”）や宇宙炉を、科学探査だけでなく国家安全保障にも資する基盤電源として位置づけ、ロードマップ化
②標準化・規制スケジュール（優先度が表れる場所として）	- MIL-STD（プラットフォーム電源インターフェース）：艦艇のMIL-STD-1399（Section 300）、航空のMIL-STD-704などが電源特性（品質・異常時挙動等）を規定し、DE搭載を含む高負荷機器の「載せ方」を標準化 - BESS安全（実装要件化）：NFPA 855が定置型蓄電の安全要求を整備し、UL 9540A等の試験が許認可・設計条件として参照されやすい（災害時の大容量蓄電の“通し方”を規定） - 宇宙原子力電池の統治（NSPM-20）：核搭載宇宙機の打上げに関する安全ガイドラインと審査プロセスを規定（RPS/宇宙炉の制度面の土台）
③公的R&Dプログラム（投資＝将来課題の優先投票）	- DOE OCED : Long-Duration Energy Storage Demonstration（+ DOE/DoD Joint Program）10時間超・複数日級の蓄電を政府施設で実証し、過酷環境/非常時の“使える解”を前に進める - DoD :（DIU）ANPI + Army Janus：軍施設の時間・高出力・オフグリッド電源としてマイクロリアクターを実装ルートに乗せる
④議会・審議・白書など	- CRS : Directed Energy Weapons（報告/Primer）DEの実態（プログラム状況・予算・課題）を継続整理し、電源・熱（power/thermal）も含むシステム課題が政策判断に反映される回路を作る - GAO : Directed Energy Weapons（2023）：実用化・移行（transition）の課題を監査し、技術だけでなく調達・運用面のボトルネック（電源/熱含む）を示す “原子力電池”の供給・管理レビュー（監査/監督）：NASA OIGがRPSとPu-238管理を監査（供給計画・技術開発の論点を可視化）
⑤調達・義務化動向	- 基地のレジリエンス設計のMandatory化：UFC 3-550-04が基地マイクログリッド設計要件を提示し、設計審査・調達での“デフォルト要件”になりやすい（研究→設計要件の固定化） - 長時間高出力（原子炉）の調達ルート整備：ANPIで“候補企業の認定→具体案件化”を進め、空軍のマイクロリアクター検討も含めて、導入モデル（長期購入等）を具体化

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-2-2-2-3. 海外の動向 対象テーマの領域における主な研究論文（米国）

①～③の各テーマを代表する研究論文を下表に整理した。各論文が示す技術的貢献と、実用化に向けて指摘されている主な課題を整理することで、今後の研究開発や制度・実装との接続を検討する際の基礎情報とする。

関連技術	論文名	国／機関	概要	実用化課題
①パルス、連続・短時間、長時間の負荷に耐えるピーク電源技術の高度化	An Analytical Model for Common-Mode EMI in Flying Capacitor Multilevel Converters	米国/UC Berkeley	ワイドバンドギャップ化で増える大dv/dt起因のコモンモードEMIを、寄生容量を含めて解析モデル化。FCML（フライングキャパシタMLC）でのEMI見積り・設計指針に落とし込む	- 寄生成分（配線/筐体/実装）の同定が難しい - 抑制策が効率・損失・体積とトレードオフ - 評価条件の標準化
	Unified Model of Grid-Forming Current-Limiting Inverters	米国/NREL	GFMで避けて通れない電流制限（current-limiting）を含めた統一モデル化を目指す。故障時・飽和時の挙動を解析可能にし、設計・検証の共通土台を作る	- ベンダ差を跨ぐパラメータ同定 - 保護協調（リレー/遮断/再閉路）との整合 - 試験条件（HIL/PHIL等）の標準化
②可搬性に優れたエネルギー貯蔵技術の確立	Impact of Thermal and Electrical Dissimilarities on Battery Module Aging (SAE 2025-01-8173, 2025)	米国/Southwest Research Institute	浸漬冷却による熱均一性の向上よりも、セルの電気的特性の不均一性（バラツキ）が寿命劣化に及ぼす影響の方が大きいことを解明。温度均一化の“次の壁”を提示	- 液浸冷却で観測され得る容量劣化の原因同定が未解決 - 高度なセル選別・クラスタリング技術の確立やより過酷な急速充電条件下での検証
	Iron-Air Battery Architectures for Regional Grid Resilience	米国/マサチューセッツ工科大学 (MIT)	100時間を超える超周期貯蔵（LDES）を可能にする鉄・空気電池のモジュール化と、輸送可能なバックアップ電源としての最適設計	- 水の電気分解によるエネルギー損失の抑制 - システム全体の応答速度（立ち上がり）の改善
③遠隔地等における長期電源としての小規模原子力技術の確立	Small, Modular Radioisotope Thermoelectric Power System for Flexible Spacecraft Architectures	米国/AIAA	Pu-238またはAm-241等を想定し、スカッテルダイト熱電脚を中核に「同位体アグノスティック」な小型・モジュール型RTGを提案。小型探査機など“期・遠隔”電源の設計思想（小型化、柔軟なアーキテクチャ適合）を具体化	- 熱電脚の高温長期安定性・接合信頼性 - 宇宙用の認定試験（振動・熱サイクル等） - 同位体供給とコスト、システム統合（熱設計・放熱）
	Update on Stirling Radioisotope Power Systems Development at NASA Glenn Research Center	米国/NASA Glenn Research Center	フリーピストン・スターリング変換の長期運転実績（十数年級）や、ロバスト・スターリング変換器のV&V（振動・加速度・熱サイクル）など、動的変換の“寿命と現場耐性”を前に進める報告	- 動的機構ゆへの信頼性保証（劣化モード、冗長化、保全不要設計） - 打上げ・運用環境に対する認証コスト - 量産・サプライチェーン確立

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-2-2-2-4. 海外の動向 国別の取組み／研究開発の担い手と役割（米国）

米国における大規模電源技術関連の研究開発について、研究を担う中核的な組織の役割と分担構造に着目して整理し、各組織が担う研究の性格（基礎理論・評価・実証・実装支援）を明確化した。

組織区分	中核組織	主な役割	代表的な研究・プログラム例	主に生み出される研究成果
基礎理論・実証・実装支援	AFRL (Directed Energy Directorate)	指向性エネルギー（短レンジ高出力パルス等）で、電源・熱・制御を含むシステム課題を研究し、運用側へ移行	DE関連の研究ポートフォリオ（電源・熱含む）	プロトタイプ、統合設計知、試験結果、仕様・設計指針パッケージ
	NASA RPS Program（管理：NASA Glenn など）	RTG等の原子力電池を、供給網も含めてプログラムとして維持・高度化（研究～フライト実装）	RPSプログラム（ミッション要求に沿った電源技術）	フライト実装可能な電源技術、仕様化・品質保証、長期運用のノウハウ
実証	研究機関等	高電圧電源・計測基盤でDEシステムの試験評価、ボトルネック特定	DE評価設備・試験活動	評価手法、計測・診断データ、設計パラメータの可視化
		パルス電源科学（短時間高出力）と、BESS/LDESの安全・信頼性評価（基礎理論～評価、一部実証）	Z / Pulsed Power、蓄電の安全信頼性研究、LDES関連コンソーシアム	極限条件データ・モデル、評価プロトコル/リスク知見、商用化障壁の整理
		マイクロリアクター等の試験・実証の場を提供し、運用・安全・規制プロセスの実装を加速	MARVEL、DOME 等	実機試験データ、運用・安全の実証知、許認可に必要なエビデンス
実装支援	NREL	防衛・重要インフラ向けに、電源システムの設計・評価・導入支援	基地レジリエンス、システム解析・設計支援	設計・評価ツール、導入ガイド、費用対効果・レジリエンス評価の知見

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-2-2-3-1. 海外の動向 国別の取組み／戦略文書（EU）

EUにおいて、大規模電源技術に関する研究開発の方向性や設計思想を規定している主な戦略文書について整理した。国家として大規模電源技術をどのような位置づけで捉え、どのような技術的方向性を志向しているかに着目した。

文書名	主体	位置付け・主旨	研究開発の方向性（要点）
European Economic Security Strategy (2025)	European Commission	経済安保の最上位指針。技術漏洩防止と供給網の強靱化を規定。エネルギー技術をリスク評価の優先分野に指定	特定国（中国等）への依存を排除した蓄電・発電部材の内製化。有事の供給断絶下でも稼働可能な、分散型・自律型電源エコシステムの構築。
Revised Strategic Energy Technology Plan (SET Plan) (2023)	European Commission	EU全体のエネルギーR&I（研究・イノベーション）ロードマップ。「Resilience（回復力）」を中核に据えた2024-2025年版へ更新	Extreme Environments（海洋・遠隔地）向け電源の強化。10時間～季節単位のLong-Duration Energy Storage (LDES)や、離島・孤立地域向けの自律型マイクログリッド。
EU Space Strategy for Security and Defence (2023)	European Commission / EEAS	宇宙資産の防衛と、過酷な宇宙環境下での自律稼働を目的としたエネルギー安全保障を規定	Space-Based Solar Power (SBSP) の概念実証。原子力ベースの宇宙用電源（Radioisotope Power Systems）の検討、および超低温・放射線耐性を持つ蓄電ユニット。
Net-Zero Industry Act (NZIA) (2024)	European Parliament / Council	域内の製造能力を2030年までに40%確保する法的枠組み。有事の「エネルギー主権」を担保する産業政策	Batteries and Energy Storage を戦略技術に指定。リチウム等の希少金属への依存を低減するAlternative Battery Chemistries（ナトリウムイオン、フロー電池等）の商業化加速。

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-2-2-3-2. 海外の動向 国別の取組み／政策・施策（EU）

EUにおける大規模電源技術に関する主な政策・施策を下表に整理した。

ここでは、研究開発の成果が標準化、調達要件、運用ルール等を通じてどのように具体化してきたかに着目し、制度や運用として現れている状況に着目した。

区分	内容
①戦略文書・ロードマップ（中長期の方向性）	• Commission Recommendation「Energy Storage」：系統柔軟性・脱炭素・供給安定の“制度実装”論点（市場設計、許認可、系統接続、データ等）を各国に勧告 • Grid Action Plan：系統増強・デジタル化・許認可短縮など、蓄電池や高出力リソースを繋げて使うための実務アクションを提示 • Net-Zero Industry Act：ネットゼロ技術の製造・供給網強化（蓄電池/蓄電関連、原子力関連も含む）を制度フレームに組み込み • 欧州委のSMR政策ページと「European SMR Industrial Alliance」：需要創出・投資障壁除去・サプライチェーン形成を明記
②標準化・規制スケジュール（優先度が表れる場所として）	• RfG（2016/631）：発電設備（含むパワエレ系）に対する系統連系要件をEU共通化 • EBGL（2017/2195）：需給調整（バランシング）の市場・運用ルール（調達・起動・精算等）をEU共通化 • Emergency & Restoration（2017/2196）：非常時の系統復旧ルール（復旧計画や試験等）を規定 • Battery Regulation（EU 2023/1542）：持続可能性・安全・トレーサビリティ（Battery Passport等）を規制スケジュールに落とし込み • EU Standardisation Strategy（COM(2022)31）で、グリーン/デジタル転換に必要な標準を政策的に前倒しする方針を提示
③公的R&Dプログラム（投資＝将来課題の優先投票）	• Horizon Europe : Batt4EU（官民パートナーシップ）で、定置用を含む電池バリューチェーン全体のR&Iを支援 • IPCEI Batteries：国家補助（State aid）枠で電池の研究・実証・産業化を“欧州共同重点”として後押し • Innovation Fund（ETS財源）：ネットゼロ技術（蓄電関連含む）の実証・製造を大型支援（Battery call等） • European Defence Fund（EDF）：高応答エネルギー貯蔵・戦術マイクログリッド等に関するR&Dテーマを設定 • Euratom R&T Programme（2021–2025） / JRC：SMRを含む先進炉について、安全・保障措置・廃棄物等の論点で研究支援
④議会・審議・白書など	• 欧州議会：SMR決議（2023/2109(INI)）で、R&D・投資・規制整備・サプライチェーン等を論点化 • 電力市場設計改正の政治プロセス：Council/Commissionの審議を経て、市場ルール（長期契約・柔軟性等）を改正 • エネルギー貯蔵勧告パッケージ（2023）：勧告＋（必要に応じ）実装上の論点整理を通じて、制度・運用への落とし込みを促進
⑤調達・義務化動向	• EBGL（2017/2195）が需給調整力の調達・起動・精算等を規定し、短時間ピーク（瞬時・短時間）や柔軟性リソース（BESS等）が“市場調達”の対象になりうる形を制度化 • 電力市場設計改正により、期契約や投資回収の枠組み、柔軟性（貯蔵・需要側等）の扱いをアップデート • Battery Regulation（2023/1542）は情報開示や持続可能性要求を通じ、公共調達・大口調達の要件に転写されやすい形で制度化 • TEN-E（Reg. 2022/869）でPCI/PMI等の優先インフラ枠を整備し系統・貯蔵等の実装の通り道を太くする • 一方でIndustrial Allianceが需要創出・ビジネスケース形成を明示し、各国プロジェクトでの調達要件化を誘発する設計

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-2-2-3-3. 海外の動向 対象テーマの領域における主な研究論文（EU）

①～③の各テーマを代表する研究論文を下表に整理した。各論文が示す技術的貢献と、実用化に向けて指摘されている主な課題を整理することで、今後の研究開発や制度・実装との接続を検討する際の基礎情報とする。

関連技術	論文名	国／機関	概要	実用化課題
①パルス、連続・短時間、長時間の負荷に耐えるピーク電源技術の高度化	Compact Design and Impact Ionization: Utilizing Small-Sized Thyristors in a 4-Stage Marx Generator	CERN、ドイツ/KIT	小型サイリスタを多段Marxに適用し、高電圧パルス生成の構成・成立性を提示	- 素子ばらつき補償 - 同期トリガ・絶縁設計 - 反復運転の寿命/信頼性 - EMIと安全規格対応
	Parameter Identification of SiC MOSFET Half-Bridge Converters Using a Multi-Objective Optimization Method	イタリア/Niccolò Cusano Univ.	多目的最適化でSiC半橋コンバータのパラメータ同定を行い、モデル忠実度を改善	- 運用条件変動・劣化での再同定 - 設計フロー実装 - スケールアップ時の寄生/EMI管理
②可搬性に優れたエネルギー貯蔵技術の確立	Modelling of Battery Energy Storage Systems Under Real-World Applications and Conditions	ドイツ/RWTH Aachen (+Huawei Düsseldorf)	電気・熱・劣化を統合したセルレベルBESSシミュレーションで、用途別の劣化ストレス差を定量化	- 化学系/セル差の汎化 - 実運用プロファイル標準化 - 寿命推定の規制・保証（warranty）反映
③遠隔地等における長期電源としての小規模原子力技術の確立	CATHARE calculation of the tests conducted on the ELSMOR passive heat removal system	フランス/（ELSMOR関連、CATHARE）	受動的崩壊熱除去系の試験をCATHAREで再現し、モデル妥当性と改善点を示す	- 試験データ拡充とスケール則 - モデル不確かさ定量化 - 規制当局の受容（code qualification）と設計反映

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-2-2-3-4. 海外の動向 国別の取組み／研究開発の担い手と役割（EU）

EUにおける大規模電源技術関連の研究開発について、研究を担う中核的な組織の役割と分担構造に着目して整理し、各組織が担う研究の性格（基礎理論・評価・実証・実装支援）を明確化した。

組織区分	中核組織	主な役割	代表的な研究・プログラム例	主に生み出される研究成果
基礎理論	European Energy Research Alliance (EERA)	欧州の主要公的研究機関を束ね 中長期の基礎理論～要素技術 を 共同で深化（スマートグリッド/エネ ルギー貯蔵等）	EERA Joint Programmes （例：Smart Grids）	制御理論・モデル、劣化/寿命 推定、系統安定化アルゴリズム、 試験ベッド設計
評価	European Commission Joint Research Centre (JRC)	EU委員会の“社内研究機関”とし て、政策・規制・標準化に使える 独立した技術エビデンス を提供	JRC技術報告「Batteries for Energy Storage in the EU 」／核セーフガードR&Dポート フォリオ	試験・評価プロトコル、性能/安 全データ、ベンチマーク、政策イ ンパクト評価レポート
実証	Batteries European Partnership Association (BEPA)	電池（定置含む）で、産学官を 束ねて 技術優先度→公募→実証 へ落とす研究実装の幹線道路を 形成	BATT4EU Partnership／ BATT4EU SRIA	実証成果（試作セル/モジュ ール/パック、製造プロセス、性 能・安全の検証結果）、R&I 優先度(SRIA)
実装支援	ETIP SNET (Smart Networks for Energy Transition)	送配電・機器・研究を横断し、パ ワエレ主導の系統（GFM等）を 含む将来像をロードマップ化。研究 成果が“運用ルール/標準化”に繋 がる論点を整理	ETIP SNET R&I Roadmap （2020-2030 / 2022- 2031）／Implementation Plan	参照アーキテクチャ、ユースケ ース、優先課題リスト、相互運用 要件
実装支援	ENTSO-E（欧州TSO連合）	TSOsをシステム統合者として、系 統運用上の課題を起点に RDI ロードマップ を法定文書として策 定	ENTSO-E R&I Roadmapサ イト／RDI Roadmap 2024- 2034	運用要件（調達サービスの仕 様、接続・制御要件の論点）、 RDI優先度 、実証知見の横展 開
実装支援	SNETP (Sustainable Nuclear Energy Technology Platform)	原子力のR&D&Iを束ね、 SRIA で研究優先度を定義	SNETP SRIA／SNETPの SMR関連ワークストリーム （例：Licensing等）	研究優先度（SRIA）、実証・ 安全論点の整理、ライセンシ ング円滑化の知見

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-2-2-4-1. 海外の動向 国別の取組み／戦略文書（英国）

英国において、大規模電源技術に関する研究開発の方向性や設計思想を規定している主な戦略文書について整理した。国家として大規模電源技術をどのような位置づけで捉え、どのような技術的方向性を志向しているかに着目した。

文書名	主体	位置付け・主旨	研究開発の方向性（要点）
National Security Strategy 2025 (2025)	内閣府 (Cabinet Office)	国家安全保障の最上位文書。技術的優位性の確保を「Sovereign Capability」として定義	供給網の武器化に対抗するための エネルギー自給能力 の強化。特に、重要インフラを支える長周期蓄電（LDES）と分散型電源の強靱化
Clean Energy Superpower Mission / Clean Power 2030 Action Plan (2025)	エネルギー安全保障・ネットゼロ省 (DESNZ)	2030年までに脱炭素電源を実現するための実行計画。「エネルギー独立」を安保の柱に据える	浮体式洋上風力（Floating Offshore Wind）や潮汐力等の海洋エネルギー。リチウム依存を脱却した次世代電池（ナトリウムイオン等）のR&D加速
Industrial Strategy 2025: Space Sector Plan (2025)	英国宇宙局 (UKSA) / 商務・貿易省 (DBT)	宇宙産業を8つの成長分野の一つに指定。宇宙空間での経済活動の基盤構築	宇宙用太陽光発電（SBSP）の 商用化に向けた実証 。月・火星探査を見据えたマイクロ原子炉（AMR）および極限環境用蓄電システム
MOD Sustainability and Energy Strategy (2025更新)	国防省 (MoD)	国防におけるエネルギー・レジリエンスの確保。過酷な作戦環境での作戦能力維持	Deployable Microgrids （展開型マイクログリッド）の高度化。無人潜水機（UUV）や遠隔拠点向けの 海洋エネルギー回収技術 および燃料電池
UK Battery Strategy (2023/2025更新)	ビジネス・貿易省 (DBT)	蓄電池の設計からリサイクルまでの国内サプライチェーン構築。経済安保上の「バッテリー主権」を追求	定置用大規模蓄電における 全固体電池 や レドックスフロー電池 の先鋭化。極低温・高温等の過酷環境下での充放電性能の安定化研究
Civil Nuclear: Roadmap to 2050 / SMR & AMR Strategy (2024/2025)	エネルギー安全保障・ネットゼロ省 (DESNZ)	原子力をベースロード電源として再定義。小型・高度モジュール型原子炉の社会実装を加速	遠隔地や軍事拠点への展開を想定した 超小型原子炉（Micro-reactors） 。海洋船舶の動力源（原子力推進）への転用を見据えたR&D

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-2-2-4-2. 海外の動向 国別の取組み／政策・施策（英国）

英国における大規模電源技術に関する主な政策・施策を下表に整理した。
ここでは、研究開発の成果が標準化、調達要件、運用ルール等を通じてどのように具体化してきたかに着目し、制度や運用として現れている状況に着目した。

区分	内容
①戦略文書・ロードマップ（中長期の方向性）	• Clean Power 2030 Action Plan：系統増強・接続改革・柔軟性（蓄電/需要側等）を「2030に向けた実装パッケージ」として提示 • LDES（時間蓄電）cap & floor導入を決定し、投資回収の設計（最低収入の確保＋上限）まで制度化の方向性を明示 • Civil Nuclear: Roadmap to 2050：SMR/AMR含む中長期の拡大方針・供給網/人材等を整理
②標準化・規制スケジュール（優先度が表れる場所として）	• ピーク時の供給力を「市場制度」として固定するCapacity Market（根拠法令：Electricity Capacity Regulations 2014＋Capacity Market Rules）により、ピーク対応リソースが“要件化された調達対象”になる • 系統運用側の具体ルールとして、NESO（旧ESO）のDynamic Response Services（周波数応答）などのサービス条件が整備・改定され、短時間・高応答リソース（BESS等）の参加要件が明確化 • 政府がグリッド規模蓄電のH&Sガイダンスを提示、消防当局側でもBESS計画ガイダンス（NFCC）が整備され、設計・計画段階の要求が具体化 • 設計段階での規制適合を前倒しで確認するGDA（Generic Design Assessment）が制度化され、RR SMRはGDAの進捗が公表されている。あわせて、立地・審査の政策枠として新NPS（EN-7）を策定・協議（SMR/AMRも対象）
③公的R&Dプログラム（投資＝将来課題の優先投票）	• NZIP（Net Zero Innovation Portfolio）下で、Longer Duration Energy Storage Demonstration等の競争的資金により実証を後押し • 研究究基盤側ではFaraday Battery Challengeで電池R&Iを継続支援 • 政府のSMR Competitive Technology Selection Processで“支援対象技術の選抜”を進め、交渉フェーズまで制度運用。加えてAMR RD&D（HTGR等）でFEED＋支援（～2025）を実施
④議会・審議・白書など	• Clean Power 2030等の目標・定義・論点はHouse of Commons Library等で整理され、政策実装の前提として参照される • 核NPS（EN-7）に関する議会委員会の報告で、EN-6からの移行（サイト指定→基準ベース、SMR/AMR包含）など制度設計の論点が明確化
⑤調達・義務化動向	• Capacity Marketのオークションで“ピーク時に使える能力”を期契約で調達（制度としての需要ピーク対応） • 系統運用者が周波数応答・動的サービス等を調達することで、BESSの高応答性が「運用ルール＋契約条件」として実装される • LDES cap & floorで、長時間蓄電を“規制ベースの収入設計”により投資可能にする（事実上の導入促進メカニズム） • SMR選定プロセスを通じ、政府が事業化支援の対象を絞り込んで交渉・契約へ進める（調達に近い実装フェーズ）。また「市場への出し方（支援スキーム）」の選択肢を政府が整理（Alternative Routes to Market）

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-2-2-4-3. 海外の動向 対象テーマの領域における主な研究論文（英国）

①～③の各テーマを代表する研究論文を下表に整理した。各論文が示す技術的貢献と、実用化に向けて指摘されている主な課題を整理することで、今後の研究開発や制度・実装との接続を検討する際の基礎情報とする。

関連技術	論文名	国／機関	概要	実用化課題
①パルス、連続・短時間、長時間の負荷に耐えるピーク電源技術の高度化	Multiphysics finite element analysis of wire and ribbon bonds under pulse power loads	英国/ウォーウィック大学	パルス大電流で負荷されるワイヤ・リボンボンドの熱-機械連成挙動をFEAで解析し、損傷起点や設計余裕の見える化を狙う	- 実機パルス波形・実装条件でのモデル妥当化 - 熱疲労/剥離の寿命予測を標準試験へ落とす - 量産実装ばらつき（接合品質）を含む信頼性保証
	How many grid-forming converters are needed? – A techno-economic perspective	英国/インペリアルカレッジロンドン	GFM導入量を「安定度」と「費用」の同時最適で捉え、必要量を技術だけでなく市場設計・コスト配分まで含めて議論する視点を提供	- 便益（慣性/安定化）の定量と費用配賦 - GFM性能指標の規格化（入札要件化） - 市場・系統運用ルール（報酬/責任）の整合
②可搬性に優れたエネルギー貯蔵技術の確立	Resilient mobile energy storage resources-based microgrid formation considering power-transportation-information network interdependencies	英国/インペリアルカレッジロンドン、エクスター大学	災害等での復旧を想定し、移動型蓄電（M-ESS）を電力×交通×情報ネットワークの相互依存として同時に扱い、マイクログリッド形成を最適化	- 移動時間や道路など交通制約を含む運用の実装 - 通信断・サイバー耐性を踏まえた制御 - 接続手続き・責任分界（誰がいつ繋ぐ/切る）の制度化
	An adaptive predictive controller for optimising the benefits of cold ironing using battery energy storage system	英国/ウォーウィック大学	港湾の陸電（cold ironing）でBESSを組み合わせ、需要変動と制約下で便益最大化する予測制御を提案。可搬/モジュールBESSの運用OSに近い	- 現場データ同化と運用KPIの定義 - 安全（熱/火災）と制御最適の両立 - 港湾・系統双方の運用ルール/接続契約の調整
③遠隔地等における長期電源としての小規模原子力技術の確立	Evolution of irradiated Pile Grade A graphite microstructure under novel molten salt decontamination conditions	英国/マンチェスター大学	照射グラファイトを熔融塩で除染する条件下で微細構造がどう変化するかを評価。廃止措置×先進炉材料をつなぐ実装寄りの材料研究	- 除染プロセスのスケールアップと再現性 - 二次廃棄物・塩の管理（規制/処分） - 材料特性回復の品質保証（適用限界）
	Proliferation-Resistant Fuel in a Continuously Refuelled Operation Cycle of a Molten-Salt Reactor	英国/ボンガー大学	連続運転・オンライン補給のMSRサイクルで、増殖・同位体設計により核拡散抵抗性を高める燃料概念を検討。遠隔地向けでも“規制受容”の論点を提供	- 炉物理・燃料塩挙動の実験/検証不足 - オンライン処理/補給の設備安全と保守性 - 保障措置（Safeguards）と許認可枠組み整備

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-2-2-4-4. 海外の動向 国別の取組み／研究開発の担い手と役割（英国）

英国における大規模電源技術関連の研究開発について、研究を担う中核的な組織の役割と分担構造に着目して整理し、各組織が担う研究の性格（基礎理論・評価・実証・実装支援）を明確化した。

組織区分	中核組織	主な役割	代表的な研究・プログラム例	主に生み出される研究成果
基礎理論	UKRI（EPSRC）	大学・研究機関の基礎研究を束ね、ピーク電源やBESSを論文で終わらせないテーマ設計で推進	Supergen Energy Storage Network+（EPSRC funded platform）	理論モデル、制御アルゴリズム、評価手法の原型、研究コミュニティ（人材・共同研究網）
基礎理論	Faraday Institution	BESSの中核領域（劣化、モデリング、安全、材料、リサイクル等）を、産業実装を見据えた研究プログラムとして組織化	Battery Degradation（Extending Battery Life等）／Faraday Battery Challenge	劣化メカニズム理解、寿命延伸・安全化の設計指針、材料／セル設計の知見
評価	National Physical Laboratory（NPL）	英国の国家計量標準機関として、BESSの性能・安全・信頼性を測れる形に整備（試験・計測・品質管理の基盤）	Battery testing（EIS、熱計測、X線CT等）／国家一次標準・計量基盤	評価指標、試験・計測プロトコル、ベンチマークデータ（調達仕様・規格・認証の土台）
実証	Innovate UK（UKRI）	研究成果をFOAK（初号実証）や実機デモに落とし込み、事業化の「谷」を埋める	Longer Duration Energy Storage Demonstration（NZIP）／Battery Innovation Programme	実証設備・プロトタイプ、運用データ、知見レポート、商用化パス
実装支援	民間企業	ピーク電源およびBESSで使える形への翻訳役。技術単体ではなく市場設計・制度・接続・運用を含む全体最適で、導入障壁を潰す	Energy Storage（whole systems engineering支援）／Flexibility Markets Unlocked	実装要件（ユースケース、運用設計、データ／プロトコル論点）、事業モデル、制度提言
実装支援	UK National Nuclear Laboratory（UKNNL）	小規模原子力で産業・政府の意思決定に耐える技術根拠を供給しつつ民間の実装を加速する国研的ハブ	SMR/AMRを含むクリーンエネルギー領域の取組／政府向けR&D・供給網レビュー等	安全・信頼性に関する技術エビデンス、設計／運用の論点整理、導入に向けた実装知見

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-2-2-5-1. 海外の動向 国別の取組み／戦略文書（中国）

中国において、大規模電源技術に関する研究開発の方向性や設計思想を規定している主な戦略文書について整理した。国家として大規模電源技術をどのような位置づけで捉え、どのような技術的方向性を志向しているかに着目した。

文書名	主体	位置付け・主旨	研究開発の方向性（要点）
第14次五カ年計画 現代エネルギーシステム計画（2022）	国家発展改革委・国家能源局（国務院承認）	エネルギー安全と低炭素の両立を軸に、供給力・系統運用・市場制度まで含む部門横断の実装計画	石炭火力を容量・調整力等の補助サービス提供へ転換、 電化学＋圧縮空気＋フライホイール等の多様な貯蔵 、需要側応答・VPPの模範の組み込み、 先進核電（核融合） 国際協力にも言及し、供給安定の柱に位置付け
第14次五カ年計画 新型エネルギー貯蔵発展実施方案（2022）	国家発展改革委・国家能源局	新型貯蔵を「新型電力システムの重要技術・基礎装備」「国際戦略新高地」と位置づけ、 規模化・産業化・市場化 までを一本化	電化学（Naイオン/液流等）＋百MW級圧縮空気＋MW級フライホイール＋水素/アンモニア・熱（冷）など 長期貯蔵 を明示。安全（熱暴走・消火・寿命評価・再利用）と標準/評価体系の整備をR&Dの中核に設定
第14次五カ年計画 エネルギー分野 科学技術イノベーション計画（2021）	国家能源局・科学技術部	「集中攻関（重点突破）→模範試験→応用普及」の三段ロジックで、技術革命を国家プロジェクト化するR&D総合計画	新型電力システム技術（高比率再エネの安定化、供需相互作用等）、 新型貯蔵・水素等の実証、小型モジュール炉（SMR）技術 を独立項目として、熱交換・監視・材料・ソフト体系・安全など実装前提技術を重点化
2030年前のカーボンピーク行動計画（2021）	国務院	脱炭素目標の“行動計画”。電力は中核で、新型電力システム構築と調整力確保を明示	柔軟調整力（需要側応答・VPP等）を制度的に動員、「再エネ＋貯蔵」「 揚水発電＋新型貯蔵 」の拡大、高温ガス炉・高速炉・ モジュール型小型炉（SMR） ・海上浮体炉など先進炉の模範工程を明記

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-2-2-5-2. 海外の動向 国別の取組み／政策・施策（中国）

中国における大規模電源技術に関する主な政策・施策を下表に整理した。
ここでは、研究開発の成果が**標準化、調達要件、運用ルール等**を通じてどのように**具体化してきたか**に着目し、
制度や運用として現れている状況に着目した。

区分	内容
①戦略文書・ロードマップ（中長期の方向性）	「第14次五か年現代エネルギー体系計画」で、重点都市の強靱化（ブラックスタート・公用応急移動電源等）を含め、電源と運用を一体で位置づけ 「第14次五か年新型貯蔵発展実施方案」で、電池・CAES・フライホイール・水素（アンモニア）・熱（冷）などによる多技術ポートフォリオを示し、国家級の実証・実証基地構想まで明記 「2030年前カーボンピーク行動計画」で、石炭火力を基盤保障＋系統調整へ転換しつつ、非化石電源拡大を前提に制度を設計
②標準化・規制スケジュール（優先度が表れる場所として）	- 補助サービス市場の基本ルール（2025）＋価格形成メカニズム通知（2024）で、ピークシフト/ピークカット、周波数調整、予備力、出力変化率等を制度的に定義し、実施細則の整合も要求 - 系統連系試験（GB/T 36548-2024、2025年施行）や安全監視情報システム指針（GB/T 44767-2024、2025年施行）を整備 - 貯蔵用リチウム電池・電池組の安全要求（GB 44240-2024、2025年施行）
③公的R&Dプログラム（投資＝将来課題の優先投票）	- 国家重点研究開発計画「貯蔵エネルギー（ストレージ）とスマートグリッド技術」重点特別プロジェクトにおいて、中長時間・短時間高頻度・超長時間スケールなどの技術課題を、具体的な「数値指標付き」で重要攻略テーマに設定 - 第14次五か年計画「新型エネルギー貯蔵実施案」に基づき、国家級の実証拠点（検証プラットフォーム）やパイロットプロジェクト（試点示范）の追跡評価を制度化。得られた知見を規格（標準）策定や産業政策へフィードバックする仕組みを設計
④議会・審議・白書など	- 全国人民代表大会（全人代）の「第14次五か年計画・2035年遠景目標綱要」が、エネルギー安全保障と技術の自立自強を最上位の国家方針として提示 - 国务院弁公庁の「全国統一電力市場体系の構築に関する実施意見（2026）」が、制度統合に向けた執行方針（中央と地方の連動、取引システムの接続、市場障壁の解消）を明示
⑤調達・義務化動向	- 補助サービス（アンシラリーサービス）市場における「需要提示→入札→約定（出清）」を制度化。揚水発電等や蓄電池電力貯蔵システムが、市場で調達可能な商品として実装される構造へ転換 - 新型エネルギー貯蔵については、パイロットプロジェクトを「標準策定・運用管理・収益性分析」の検証基盤に紐づけ、普及の前提条件となる「安全性・運用ルール・評価基準」を先行して確立する方針

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-2-2-5-3. 海外の動向 対象テーマの領域における主な研究論文（中国）

①～③の各テーマを代表する研究論文を下表に整理した。各論文が示す技術的貢献と、実用化に向けて指摘されている主な課題を整理することで、今後の研究開発や制度・実装との接続を検討する際の基礎情報とする。

関連技術	論文名	国／機関	概要	実用化課題
①パルス、連続・短時間、長時間の負荷に耐えるピーク電源技術の高度化	A 4-MA linear transformer driver for X-ray generation	中国/中国工程物理研究院 (CAEP)	X線発生装置向けに4MA（メガアンペア）のピーク電流を60nsで立ち上げる高効率LTD（線形変圧器駆動）技術を開発	- 超高電圧・大電流下での絶縁体の劣化防止 - システム全体の小型化・高信頼性の両立
	Multiobjective Energy Management of Multiple Pulsed Loads in Shipboard Integrated Power Systems	中国/武漢理工大学・海軍工程大学	艦船の統合電力システムにおいて、複数のパルス負荷（電磁砲等）と通常負荷を最適に配分する多目的エネルギー管理戦略を提案	- 海上環境におけるリアルタイムの熱管理 - パルス負荷による系統電圧変動の高度な抑制技術
②可搬性に優れたエネルギー貯蔵技術の確立	Digital twin outlook for all-vanadium redox flow batteries: modular management	中国/中国科学院大学 (UCAS)	長周期貯蔵（LDES）の主力である全バナジウムフロー電池の「モジュール化」と、デジタルツインによる群管理・劣化予測手法を提示	- バナジウム溶液のクロスオーバー（混合）による自己放電の防止 - システム全体の小型化・密閉性確保
③遠隔地等における長期電源としての小規模原子力技術の確立	SUMMER: A small modular lead-bismuth-cooled fast reactor for mobile energy supply	中国/中国科学技術大学 (USTC)	鉛・ビスマス冷却材を用いた、トラックや列車で移動可能なモジュール型高速炉（SUMMER）の概念設計	- 鉛・ビスマスによる構造材の腐食対策 - 遠隔地での無人運転を実現する自動制御システム
	3D-2D coupling simulation for heat pipe micro-reactors	中国/ハルビン工程大学等	熱管（ヒートパイプ）を用いたマイクロ炉の冷却性能を高度にシミュレーションし、冷却材喪失事故のリスクをゼロ化	- ヒートパイプ自体の長期的な信頼性 - 極限環境（極地や孤島）での設置・運用コストの低廉化

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-2-2-5-4. 海外の動向 国別の取組み／研究開発の担い手と役割（中国）

中国における大規模電源技術関連の研究開発について、研究を担う中核的な組織の役割と分担構造に着目して整理し、各組織が担う研究の性格（基礎理論・評価・実証・実装支援）を明確化した。

組織区分	中核組織	主な役割	代表的な研究・プログラム例	主に生み出される研究成果
基礎理論	中国科学院 電工研究所（CAS-IEE）	新型電力システムの要素技術（電力変換・制御、新型貯蔵等）を基礎～応用で研究	研究戦略に新型貯蔵技術を主要方向として明記	物理/電気モデル、制御・材料の基盤知見、技術コンセプト
基礎理論	中国原子能科学研究院（CIAE）	原子力電池など長寿命電源の基盤研究・試作	ストロンチウム90を用いた「放射光発電」同位体電池の試作および成果公表	変換材料・構造の知見、試作データ、安全・長期信頼性の基礎エビデンス
評価	中国電力科学研究院（CEPRI／国家电网系）	系統連系・運用の観点から、BESS/パワエレ等の並網性能試験・評価を方法論化	電池貯蔵の系統接続性能を「統一評価」するための試験・評価方法	試験プロトコル、評価指標、系統解析モデル
実証	中国科学院 工程熱物理研究所（CAS-IET）	非電池LDES（圧縮空気等）の大規模実証→産業化を牽引	300MW/1800MWh級「先進圧縮空気エネルギー貯蔵（A-CAES）」国家実証プロジェクト	実証運転データ、コスト/効率の実績値、主要機器仕様、統合制御・安全設計ノウハウ
実証	中国核動力研究設計院（NPIC／CNNC）	SMR（ACP100等）の研究・設計・実験を統括し実機へ接続	ACP100の企業内重点特別プロジェクトにおいて、中国核動力研究設計院が研究を担う体制を構築	標準設計・実験検証データ、許認可に必要な安全根拠パッケージ
実証	中広核研究院（CGN Research Institute）	SMR（海上/分散用途）でR&Dから試験・検証、実装構想まで推進	ACPR50SなどのSMRの開発推進（IAEAロードマップへの掲載など）	堆型の設計知見、試験・検証成果、用途別（海上・離島等）実装コンセプト
実装支援	国网能源研究院（SGERI／国家电网系）	電力システムの中長期計画・市場設計の研究を通じて「制度で回る仕様」に翻訳	電源・送電網・負荷・貯蔵の統合と革新技術を組み合わせた計画研究を明示	計画・制度論点（調整力/貯蔵の機能定義、投資・運用の前提条件）、実装優先度の整理

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-2-2-6-1. 海外の動向 国別の取組み／戦略文書（韓国）

韓国において、大規模電源技術に関する研究開発の方向性や設計思想を規定している主な戦略文書について整理した。国家として大規模電源技術をどのような位置づけで捉え、どのような技術的方向性を志向しているかに着目した。

文書名	主体	位置付け・主旨	研究開発の方向性（要点）
SMR（小型モジュール炉）規制体系構築ロードマップ（2026）	原子力安全委員会（NSSC）	SMRの規制枠組みを先回りで整備するロードマップ	遠隔地・小規模電源としてのSMR実装に向け、設計審査の考え方・安全要求・審査プロセスを明確化。技術開発単体でなく、規制受容（ライセンシング）を前提条件としてR&Dを誘導する設計思想
第11次 電力需給基本計画（2025）	産業通商資源部（MOTIE）	電源構成・系統運用・需給安定の国家計画	再エネ拡大前提で「調整力」確保を中核課題に置き、需要側資源や蓄電の活用を制度と一体で設計。蓄電を系統対策（混雑、周波数、予備力）として位置づけ、原子力の役割も需給安定の枠で議論し、実装要件（安全・運転）を前提に計画化
炭素中立・グリーン成長 国家戦略および第1次国家基本計画（2023）	2050炭素中立・グリーン成長委員会（政府）	2050に向けた政府の基本戦略・実行計画	電力の脱炭素＋安定供給を同時達成する設計思想。貯蔵・柔軟性（需要側含む）を系統運用の前提条件として織り込む。原子力は脱炭素電源の選択肢として扱い、社会受容・安全を含む実装条件の整備を促す
二次電池産業 革新戦略（2022）	産業通商資源部（MOTIE）	民官合同で電池産業の重点課題を提示	R&D拠点化（研究投資・人材）と、重要鉱物確保や循環（クローズドループ）を一体で推進。安全・品質・サプライチェーンを含め、可搬BESSの量産適格性を高める方向に誘導
第1次 水素経済履行基本計画（2021）	産業通商資源部（MOTIE）	水素法に基づく国家の実行計画	非電池LDESの中核として水素の製造・貯蔵・輸送と利用（発電・燃料電池等）を体系化。ピーク対応・季節間調整のバッファとして水素を位置づけ電力制度への接続を意識

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-2-2-6-2. 海外の動向 国別の取組み／政策・施策（韓国）

韓国における大規模電源技術に関する主な政策・施策を下表に整理した。

ここでは、研究開発の成果が**標準化、調達要件、運用ルール等**を通じてどのように具体化してきたかに着目し、制度や運用として現れている状況に着目した。

区分	内容
①戦略文書・ロードマップ（中長期の方向性）	・「第11次 電力需給基本計画」で、需要増（電化・データセンター等）とピーク課題を前提に、電源・系統・運用を計画化 ・「炭素中立・グリーン成長 国家戦略・第1次基本計画」で、脱炭素と安定供給を同時達成する部門別戦略を提示 ・「第1次 水素経済履行基本計画」で、電池以外の長期貯蔵として水素の供給網・安全・需要創出を工程化
②標準化・規制スケジュール（優先度が表れる場所として）	・電力市場運用規則で、系統信頼度のための「補助サービス」を制度定義（周波数・予備力等）し、運用ルールを固定化 ・エネルギー貯蔵システムは系統評価の細部運用規程で「補助サービス特性資料」「周波数追従運転範囲」等を規定し、参加要件の見える化を進める ・SMRは原子力安全委が「SMR規制体系構築ロードマップ（2026）」を公表し、2030までの規制改編工程を提示
③公的R&Dプログラム（投資＝将来課題の優先投票）	・i-SMR技術開発事業（科学技術情報通信部×産業通商資源部の公募等）で、部品・安全系を含むR&Dを実装前提で推進 ・KETEPのエネルギー技術開発事業で、周期貯蔵の多様化（例：カーノバッテリー等）を“政策課題→新規課題”として形成
④議会・審議・白書など	・KEEI等が「第11次計画の要点」を整理し、需要増・季節ピーク差・柔軟性の論点を可視化 ・「2024再生エネルギー白書」で、政策・技術・統計を体系整理 ・産業部・KPXが「2024年 電力市場改善方向」を説明
⑤調達・義務化動向	・KPX運用規則と系統評価規程が、エネルギー貯蔵システムの周波数追従・予備力提供等を要件化し、ピーク電源やESSを市場運用へ接続 ・電力市場の改善方針を毎年アップデートして周知し、柔軟性（ピーク/応答）の商品化・参加拡大を進める運用

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-2-2-6-3. 海外の動向 対象テーマの領域における主な研究論文（韓国）

①～③の各テーマを代表する研究論文を下表に整理した。各論文が示す技術的貢献と、実用化に向けて指摘されている主な課題を整理することで、今後の研究開発や制度・実装との接続を検討する際の基礎情報とする。

関連技術	論文名	国／機関	概要	実用化課題
①パルス、連続・短時間、長時間の負荷に耐えるピーク電源技術の高度化	Output Estimation Methods of LCC Resonant Converter for High Voltage Application	韓国/ハンバット国立大学	パルス電源の核となるLCC共振コンバータにおいて、物理センサに頼らず高精度に出力を推定・制御するアルゴリズムを提案	- 超高速パルス動作下での計算負荷の低減 - 負荷変動に対するロバスト性の確保
	Flexible zinc and manganese dioxide batteries suppressing the formation of zinc dendrite	韓国/ソウル国立科学大学	曲げ可能なZn-MnO ₂ 電池でデンドライト抑制と柔軟性を両立し、wearable用途を志向	- Znデンドライトの期抑制 - ウェアラブルを実現するための柔軟性と容量維持の両立
②可搬性に優れたエネルギー貯蔵技術の確立	A polymer and plastic crystal composite electrolyte-based flexible battery for wearable electronics	韓国/Yonsei University	高伸縮電解質を用いた柔軟Liイオン電池を開発し、EMG/ECGセンサ駆動を実証	- 高い機械耐久性と十分な電池性能の両立 - 柔軟化による安全性・構造信頼性の確保
	Feasibility Study on Deploying Micro Modular Reactors (MMR) in Korea for Remote Are	韓国/KAIST	遠隔地向けにMMR導入可能性を評価。独立電源性、補給低減、韓国向け最適仕様や導入課題を整理	- 立地選定と事業モデルの不在 - 安全規制フレームワークの適時整備 - 戦略的国際協力
③遠隔地等における長期電源としての小規模原子力技術の確立	A Conceptual Study of a Supercritical CO ₂ -Cooled Micro Modular Reactor (KAIST MMR)	韓国/KAIST	トラック輸送可能な36MWthのマイクロ炉。超臨界CO ₂ サイクルを採用し、20年間の無燃料交換運転を目指す超小型設計	- 超臨界CO₂環境下における構造材の高熱・高圧耐久性の実証 - 小型タービン技術の確立

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-2-2-6-4. 海外の動向 国別の取組み／研究開発の担い手と役割（韓国）

韓国における大規模電源技術関連の研究開発について、研究を担う中核的な組織の役割と分担構造に着目して整理し、各組織が担う研究の性格（基礎理論・評価・実証・実装支援）を明確化した。

組織区分	中核組織	主な役割	代表的な研究・プログラム例	主に生み出される研究成果
基礎理論	韓国電気研究院（KERI）	ピーク対応・系統安定化に効く スマートインバータ/GFM制御 をHIL等で検証し理論から実装へ橋渡し	HIL（ハードウェアインザループ）でグリッドフォーミング等の制御を実時間検証	制御アルゴリズム、検証ベンチ、系統適合の評価手順
基礎理論	韓国エネルギー研究院（KIER）	非電池LDESを含む供給・利用技術を研究し、長期貯蔵の選択肢を拡張	水素供給・利用、エネルギー統合等の研究領域を明示	反応・プロセスの基盤知見、システム設計指針、実証へ繋がる技術要素
評価	韓国機械電気電子試験研究院（KTC）	BESS/電池の 試験・認証 （特に火災分野）で、安全要求を計測可能にする	Battery Center業務にESS火災分野試験を明示	試験プロトコル、適合判定データ、事故再現・原因分析知見
評価	韓国産業技術試験院（KTL）	エネルギー貯蔵システム（ESS）の性能・安全・試験方法を整備	ESS用PCSの性能評価・試験方法および基準の必要性明記	性能/安全の評価手順、試験成績書、標準・団体標準へのフィードバック
実証	韓国電力公社 研究院（KEPCO Research Institute）	系統サービス（周波数調整等）を 実系統で実証 し、運用・便益を定量化	済州で4MW ESS実証	実系統データ、運用KPI、収益/便益評価
実装支援	韓国エネルギー技術評価院（KETEP）	長期貯蔵（非リチウム/非電池含む）を含め、R&D課題の企画・評価・資金配分で優先度を形成	長時間非リチウム系BESSモジュール技術開発および実証等の公募・企画	要件定義、実証テーマ形成、評価指標
実装支援	韓国原子力研究院（KAERI）	SMRで「設計段階からの保障措置」等、規制受容を前倒して実装を加速	SMART100のSafeguards Technical Reportの提出	規制・国際受容に必要な技術文書、審査に耐える設計根拠パッケージ

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-2-2-7-1. 海外の動向 国別の取組み／戦略文書（日本）

日本において、大規模電源技術に関する研究開発の方向性や設計思想を規定している主な戦略文書について整理した。国家として大規模電源技術をどのような位置づけで捉え、どのような技術的方向性を志向しているかに着目した。

文書名	主体	位置付け・主旨	研究開発の方向性（要点）
次世代革新炉開発ロードマップ（案）（2026）	資源エネルギー庁（総合資源エネルギー調査会・革新炉WG）	技術があるだけでは建たない前提で、規制予見性・実証データ・投資環境・サプライチェーンまで含めて社会実装を設計するロードマップ	SMRを小出力×自然循環等で安全性を高め、脱炭素・安定電源ニーズに応える選択肢として位置付け。規制当局との対話、許認可に要する実証データ取得、海外PJ参画支援をR&Dの中核に置く
第7次エネルギー基本計画（2025）	資源エネルギー庁（経産省）	経済安全保障とDX/GX需要増を前提に、脱炭素電源×系統×次世代エネルギーを一体最適で設計する上位計画	火力の脱炭素化（燃料転換・CCUS等）、需給運用高度化、蓄電（電池・揚水・DER）、重要鉱物確保、原子力（革新炉/SMR等）を含むイノベーションの社会実装を政策要件とセットで前倒しで行う
電力部門トランジション・ロードマップ（2025）	経済産業省（トランジション・ファイナンス枠）	R&D→実証→商用化→導入の時間軸を明示し、投資・審査・調達に関する技術の工程表として提示	系統安定のための送配電増強、DR/電化、分散電源、および系統用電池と揚水による蓄電をシステム安定に寄与する資源として位置付け、導入を正当化
GX実現に向けた基本方針（2023）	内閣官房（GX実行会議）	GX投資を官民協調で起こす設計思想を明文化	水素・アンモニア等のサプライチェーンと利用（発電含む）を一体で加速。原子力も脱炭素・安定供給の柱として位置付け、実装前提（安全・手続）を整える
水素基本戦略（2023）	再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議	水素による電力も含む需要創出とサプライチェーン構築を国家戦略として再定義	非電池LDESの中核として、水電解・輸送/貯蔵・発電利用まで実証→商用へ。安全・標準化・国際連携をR&Dと同列に扱い、制度実装（支援設計）と一体で前進
蓄電池産業戦略（2022）	経済産業省	蓄電池を再エネ主力化の需給調整かつ重要施設バックアップの基盤物資として位置付け	可搬BESSを含む電池の低コスト化・高安全化・長寿命化に加え、上流資源確保、製造基盤、リサイクル、標準・ルール形成まで一貫通貫で強化

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-2-2-7-2. 海外の動向 国別の取組み／政策・施策（日本）

日本における大規模電源技術に関する主な政策・施策を下表に整理した。

ここでは、研究開発の成果が**標準化、調達要件、運用ルール等**を通じてどのように具体化してきたかに着目し、制度や運用として現れている状況に着目した。

区分	内容
①戦略文書・ロードマップ（中長期の方向性）	「第7次エネルギー基本計画」で、2040を見据えた安定供給×脱炭素の基本設計を提示 「GX実現に向けた基本方針」で、制度（市場・支援・規制）から実装を先回り 「蓄電池産業戦略」で、供給網（資源～リサイクル）とルール整備を一体化 「水素基本戦略」で、電池以外の長期貯蔵（②）として“水素等”の実証・商用化を政策パッケージ化 「次世代革新炉 開発ロードマップ案」で、SMRを含む実装前提（規制予見性・実証データ等）を工程化
②標準化・規制スケジュール（優先度が表れる場所として）	- BESSの安全をJISで定義。JIS C 4441（2021）が、系統接続BESSの安全要求をライフサイクルで規定（設計～廃止） - 消防・危険物のルールも更新。消防庁資料で蓄電池設備の基準や点検基準の改正を明示 - 定置用蓄電の普及検討会で、条例差・火災リスク等の“実装上の詰まり”を論点化
③公的R&Dプログラム（投資＝将来課題の優先投票）	NEDOグリーンイノベーション基金で次世代電池（材料から製造まで）を大型投資で推進。定置型蓄電池制御やカートリッジ式バッテリー搬送など、可搬性BESSに近い運用実証を含むプロジェクトが実施されている
④議会・審議・白書など	「エネルギー白書」で国内外のエネルギー情勢と政策対応を年次整理 - OCCTOの需給調整市場検討小委員会で、調整力の細分化・広域調達・個別計測など運用ルールを継続審議
⑤調達・義務化動向	- 長期脱炭素電源オークションにより脱炭素電源への新規投資に長期収入の予見性を付与（②③の実装インセンティブ） - 需給調整市場は取引所/制度側が必要量を公表し、調整力を調達（BESSの参入余地を制度側で明確化）

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-2-2-7-3. 海外の動向 対象テーマの領域における主な研究論文（日本）

①～③の各テーマを代表する研究論文を下表に整理した。各論文が示す技術的貢献と、実用化に向けて指摘されている主な課題を整理することで、今後の研究開発や制度・実装との接続を検討する際の基礎情報とする。

関連技術	論文名	国／機関	概要	実用化課題
①パルス、連続・短時間、長時間の負荷に耐えるピーク電源技術の高度化	Development of compact ultra-high power pulsed power supply	日本/長岡技術科学大学・Pulsed Power Japan	従来、巨大で据え置き型だったGW（ギガワット）級の超高出力電源を、1/20の重量・1/10のサイズに小型化した可搬型システムの開発	- 超高電圧（200kV超）下での回路絶縁の小型化 - 高繰り返し動作（10Hz）時の熱処理
	Individual Evaluation of the Streamer Propagation Velocities during Nanosecond Pulsed Discharge	日本/熊本大学	ナノ秒単位のパルス放電における「最終ジャンプ」現象を可視化。効率的なピーク電力供給とプラズマ生成の基盤知見を提供	- 実環境（大気中以外）での放電挙動の予測精度向上 - 精密な電圧制御システムの構築
②可搬性に優れたエネルギー貯蔵技術の確立	Integrating Hydrogen Energy Storage with Battery for Sustainable Microgrid Operation	日本/広島大学	LDESの一環として、水素蓄エネルギーと二次電池を統合。変動の激しい再生エネを平滑化し、期間の安定供給を実現する制御モデル	- 水素の貯蔵・運搬コストの低減 - 水素と電気の相互変換効率（往復効率）のさらなる向上
	Rechargeable organic molecule-air battery	日本/東北大、京都大他	親水性アントラキノン誘導体を負極活物質に用いた有機分子空気電池。酸性水系で高いサイクル性とクーロン効率を狙う	- 活物質に高い親水性・イオン拡散性・電極からの脱離抑制 - 酸性電解液＋Pt/C空気極のため、実装に向けた部材耐久性とコスト最適化
③遠隔地等における長期電源としての小規模原子力技術の確立	Dynamic modeling of HTGR-renewable hybrid system for power grid simulation	日本/JAEA	高温ガス炉と再エネ・水素併産を統合し、炉熱一定のまま需給変動を吸収するハイブリッド運転を動的解析した	- 系統連系時の負荷周波数制御を実機条件でどこまで成立させるか - 水素併産設備や熱利用設備を含む統合制御
	Development of Multi-purpose Microreactor - Challenge to All-solid-state Core -	日本/三菱重工業（MHI）	トラックで輸送可能なコンテナサイズのマイクロ炉。遠隔地や極地で20年以上のメンテナンスフリー運転を目指す設計思想の提示	- 輸送時の核物質防護（セキュリティ）の確保 - 移動に伴う物理的な振動への構造耐久性

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-2-2-7-4. 海外の動向 国別の取組み／研究開発の担い手と役割（日本）

日本における大規模電源技術関連の研究開発について、研究を担う中核的な組織の役割と分担構造に着目して整理し、各組織が担う研究の性格（基礎理論・評価・実証・実装支援）を明確化した。

組織区分	中核組織	主な役割	代表的な研究・プログラム例	主に生み出される研究成果
基礎理論	電力中央研究所（CRIEPI）	インバータ主体系統（慣性低下・短絡容量低下等）の課題を理論・解析で整理し、運用/要件へ接続	インバータ主体系統における保護・動作課題の基礎検討	系統解析モデル、安定度・保護の評価指標、運用へ落とす技術レポート
評価	製品評価技術基盤機構（NITE） NLAB	コンテナ級BESSの安全試験を可能にし、国際標準/認証の試験根拠を供給	NLAB Large Chamber（コンテナ級蓄電池の発火燃焼試験等）	安全試験データ、試験プロトコル、標準化・認証で使えるベンチマーク
評価	産業技術総合研究所（AIST）	大型PCS等を、各種系統条件で試験・評価し「系統で使える」性能を担保	メガワット級PCS等の試験・評価	性能評価手順、相互運用性の検証データ、系統連系要件に繋がる知見
実証	NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）	パワー半導体や蓄電池を中心に、研究→実証→制度論点まで見据えた大型PJを運用	次々世代電力ネットワーク安定化（慣性/短絡容量低下対策の技術開発＋検証）	実証結果、導入効果の定量、制度・運用への論点整理
実証	日本原子力研究開発機構（JAEA）	高温ガス炉や原子力蓄電池等で遠隔地等での利用を見据えた技術実証・許認可対応	HTTRと水素製造施設の接続許可取得に向けた技術評価・実証を推進	実験・解析データ、許認可に必要な技術根拠、実証炉に繋がる設計知見
実装支援	電力広域的運営推進機関（OCCTO）	研究成果の受け皿として、系統利用・運用のコードを整備し系統安定化や可搬型BESS蓄電池等の要件化を促す	Network Codes（送配電網利用等の基本規定）	接続・運用ルール、要件の明文化

2. 各技術領域における検討

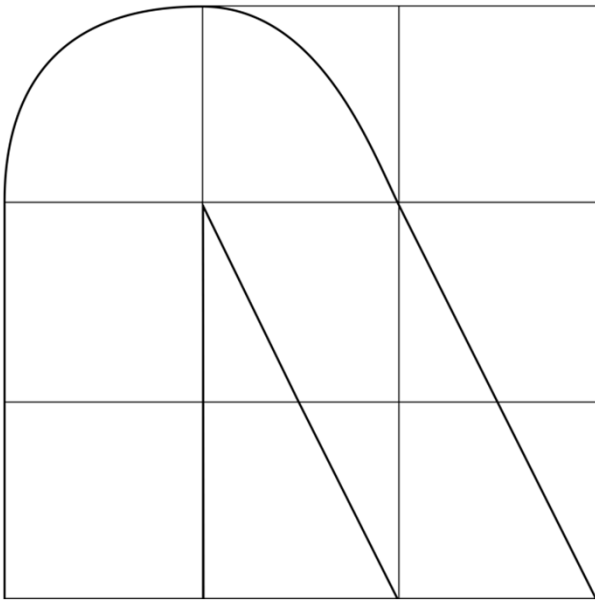
2-1. 災害・医療用ロボット技術

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-3. 本人確認・認証システム

2-4. ドローン検知・対処技術

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）



2-3. 本人確認・認証システム

2-3-1-1. ユースケースの整理

信頼の対象として三要素（A：情報、B：行為、C：主体）を想定し、活動空間（サイバー／実空間）を掛け合わせてユースケースを整理した。なお近年はAI生成主体や仮想主体の出現を踏まえ、本整理では、主体（自然人・組織・AI等）およびその属性の提示・制御を含めている。

信頼の対象	空間	ペアリング	想定ユースケース	関連技術等	研究開発の必要性
A：情報 （コンテンツ 真正性）	サイバー	+ B:行為	電子文書やデータがいつ・どのような操作を受けたかを後から検証する	電子署名、タイムスタンプ、ハッシュによる改ざん検知	【成熟】昨日の技術。すでに普及しており、新たな研究開発の余地は少ない。
		+ C:主体	誰（AI主体含む）が発信／生成した情報を識別・検証し、偽情報の拡散を防ぐ	コンテンツ出所証明（C2PA等）、署名認証、生成元証明（モデル識別等）	【重要】認知戦対策。「誰が／何が（AI含む）」発信・生成したかを紐付けることが急所。
	実空間	+ B:行為	センサー等で取得したデータがどの環境・条件下で取得されたか後から確認する	環境署名（位置・時刻等の記録）	【重要】エッジ真正性。物理状況とデータを不可分にすることが信頼の核。
		+ C:主体	端末や保有者とデータの関係をつなぎ、なりすましや偽装を防ぐ	端末保有者によるデータ署名	【弱い】Cとの紐付け以前に、物理環境（B）との紐付けがないと偽装が容易。
B：行為	サイバー	+ A:内容	電子契約・記録について将来にわたり真正性を検証する	量子計算機による暗号解読リスクへの対応（PQC等）による長期署名	【重要】量子計算機脅威。将来の解読リスクに備え、署名と内容の固定を強化する必要。
		+ C:主体	ログインや操作、やりとりについて本人による行為であることを継続的に保証する	ID/パスワード、多要素認証	【成熟】一般的な認証。利便性向上は進んでいるが、安保上の未踏領域は少ない。
	実空間	+ A:内容	現場作業と対象物の関係をつなぎ、作業内容の正当性を証明する	作業ログと対象物の紐付け	【弱い】デジタル上の紐付けより、物理的な証拠記録（B+C）の方が優先度高。
		+ C:主体	誰が現場で操作したか責任を追跡する	現場署名、操作証跡	【重要】エビデンス。物理空間の責任所在をデジタルで確定させる技術が不足。
C：主体※	サイバー	+ A：内容・属性	資格・属性を海外ID基盤に依存せず証明する	VC（Verifiable Credential）	【重要】デジタル主権。海外企業に依存せず自国で資格を証明する基盤が不可欠。
		+ B：行為	サイバー空間での行為が本人によるものであることを継続的に確認する	タイピング認証等の行動認証	【成熟】すでに実用化。安保上の優先度としてはPQCやVCに劣る。
	実空間	+ A：内容・属性	本人確認が単発に留まらず、継続的な本人性を担保する	バイOMETRICS（指紋・顔）	【成熟】技術的に完成。なりすまし防止（偽造対策）以外にR&Dの余地は限定的。
		+ B：行為	なりすましによる侵入・操作をリアルタイムで防ぐ	歩容認証、PUF/TEEによる動的防御	【重要】動的防御。端末の物理的真正性となりすましをリアルタイムで防ぐ。

※自然人・組織、デバイス（IoT等）、論理主体（AI主体・アバター等）

2-3. 本人確認・認証システム

2-3-1-2. ユースケースの構造化とテーマへの接続

前ページで整理したユースケースは、信頼の成立に必要な三要素（情報・行為・主体）の組合せにより構成されるが、それぞれに共通する技術的課題が存在する。本整理では、**信頼成立における中核となる機能単位で束ね、**テーマとして整理した。

分類	評価の視点	優先度	研究開発の方向性	テーマの方向性	
				主眼	目的
A情報×サイバー×C主体	生成主体真正性確保の観点から重要。生成AIによる生成・なりすましが高度化する中、発信主体（人・組織・AI）の正当性を検証する能力は社会基盤として不可欠。	高	匿名性を維持しつつ信頼性を担保する 先端認証基盤 の確立。	信頼を成立させる	「情報の正しさ」を成立させる 認知戦やエッジデータ偽装に対し、情報と主体・行為（C/B）を紐づけることで、社会で流通する情報の真正性を技術的に成立させる。
A情報×実空間×B行為	実空間データ真正性確保の観点から重要。センサーデータの改ざんは物理被害に直結するため、取得環境とデータの不可分な紐付けが必要。	中	既存の電子署名をエッジデバイスに最適化する 環境署名技術 の実装。		
B行為×サイバー×A情報	長期暗号耐性確保の観点から重要。量子計算機による将来の解読能力向上を踏まえ、長期利用される情報の真正性を維持する移行対応が不可欠。	最優先	耐量子計算機暗号（PQC）への早期転換と、長期的な否認防止技術の開発。	信頼を運用・判断する	信頼判断のルールを自国で運用する PQCやVCを用いて、主体・属性・行為の信頼を越境・長期で判断可能とし、海外依存に左右されないトラスト基盤を構築する。
B行為×実空間×C主体	行為証跡の信頼性確保の観点から重要。物理的操作の証跡は事故調査や法的紛争時の基盤となるため、操作主体の特定と証跡保全が必要。	中	物理的操作とデジタル証跡を不可分にする 現場署名システム の構築。		
C主体×サイバー×A情報	主体属性保証の観点から重要。海外基盤に依存せず、主体の資格・権限を自国で保証・検証できる能力が必要。	最優先	VC（Verifiable Credential）を用いた自己主権型ID基盤の整備。	信頼の破綻に対応する	実空間で信頼の破綻を防ぐ 現場署名や動的認証により、実空間におけるなりすましや不正操作を検知・抑止し、信頼が崩れる局面に現場で対応する。
C主体×実空間×B行為	実空間における主体真正性確保から重要。重要施設等に対する高度な攻撃に対し、エッジ・クラウドを含めた主体認証と行為認証を組み合わせた継続的防御が必要。	高	PUF等のデバイス認証とTEE等の信頼実行環境を統合した防御技術の開発。		

2-3. 本人確認・認証システム

2-3-1-3. 優先度・影響度評価の定義

優先度

区分	定義	主な判断観点
高 (High)	社会的要請や脅威が顕在化しており、国家として優先的に検討・対応すべき度合いが高い	・なりすまし、不正利用、情報漏洩等の課題が既に顕在化している ・行政、重要インフラ、社会基盤・国家機能など複数分野に横断的に関係する ・対応の遅れが安全保障・災害対応・社会的信頼の低下等のリスクに直結する
中 (Medium)	重要性は高いが、分野・用途が限定的、または対応手段が複数存在する	・特定分野・用途を中心に明確なニーズが存在する ・制度・運用との調整を前提に段階的な対応が可能である ・優先度判断について関係主体（行政・産業等）間で見解に幅がある
低 (Low)	現時点では限定的で、優先的な対応の必要性が相対的に低い	・課題やニーズが限定的または潜在的にとどまる ・既存技術・制度・運用による代替手段が存在する ・社会的要請や緊急性が現時点では低い

影響度

区分	定義	主な判断基準
高 (High)	社会・経済インフラの信頼性や国家安全保障に直結する影響	・行政、産業、防災、司法等、複数分野に横断的に適用される基盤技術である ・他ユースケースにも再利用可能で、社会全体の安全性・信頼性に直接的な影響を及ぼす ・国際相互運用（eIDAS、VC、外国人・技術者対応等）や経済安全保障に直結する
中 (Medium)	特定の産業・セクターにおける効率性・安全性の向上に寄与する影響	・特定の業務・産業分野では重要だが、横断展開は部分的にとどまる ・再利用性はあるが、特定環境・端末・運用前提による制約が大きい ・経済安全保障との関係は間接的で、産業・行政の一部領域に限定される
低 (Low)	特定領域やニッチ分野に限定される影響	・限定された現場・業界でのみ必要とされ、一般化・横展開が難しい ・他のユースケースや制度との関連性が低く、波及効果が限定的 ・国際標準化や国家的な信頼性基盤とは直接結びつかない

2-3. 本人確認・認証システム

2-3-2-2-1. 海外の動向 国別の取組み／戦略文書（米国）

米国において、本人確認・認証システムに関する研究開発の方向性や設計思想を規定している主な戦略文書について整理した。国家として本人確認・認証をどのような位置づけで捉え、どのような技術的方向性を志向しているかに着目した。

文書名	主体	位置付け・主旨	研究開発の方向性（要点）
National Strategy for Trusted Identities in Cyberspace (NSTIC)	ホワイトハウス	本人確認・認証を国家としてどう発展させるかを示す基本戦略	統一的な国家IDを構築せず、官民連携により 相互運用性・信頼性・プライバシーを備えたIDエコシステム を形成。特定方式を指定せず、 基盤技術・評価技術の研究開発を誘導
National Cybersecurity Strategy (2023)	ホワイトハウス	サイバーセキュリティ全体の国家戦略	アイデンティティを サイバー防衛の中核要素 と位置付け。認証を静的なログイン手段ではなく、 継続的に信頼を判断する技術領域 として高度化する方向性を提示
Federal Zero Trust Strategy	米連邦政府	政府全体のIT・セキュリティ移行方針	ネットワーク境界型から、 主体（人・端末・行為）中心の信頼判断 への転換を明示。 継続認証・行為単位の真正性検証 を前提とした研究開発を後押し
国家安全保障・国土安全保障分野の上位戦略※	DoD / DHS 等	防衛・重要インフラの信頼性確保	認証・本人確認を ミッション保証のための基盤技術 と位置付け。公開ロードマップは限定的だが、 先端認証・行動認証等の研究投資を継続

※ 米国では、国家安全保障・国土安全保障分野における上位戦略は単一文書に集約されておらず、
National Security Strategy (NSS/WH)
National Defense Strategy (NDS/DoD) 、
国土安全保障分野の戦略文書（DHS Strategic Plan 等）
といった複数の上位戦略文書に分散して位置付けられている。

2-3. 本人確認・認証システム

2-3-2-2-2. 海外の動向 国別の取組み／政策・施策（米国）

米国では、本人確認・認証を研究開発の成果として完結させるのではなく、ゼロトラストを中核とする国家サイバー戦略や調達要件の中に組み込み、政策・制度・調達を通じて実装を加速させる対象として位置付けている。戦略文書や標準化、規制スケジュール、公的R&D投資、政府調達が相互に連動しており、技術的優先順位が制度と市場の双方から明示される構造が特徴である。

区分	内容
戦略文書・ロードマップ (中長期の方向性)	- OMB M-22-09（連邦ゼロトラスト戦略）：ホワイトハウス（OMB）が全連邦省庁に対しFY2024までのゼロトラスト実装を義務化。特に多要素認証（MFA）やパスワードに依らない認証方式、利用状況に応じて信頼を継続的に確認する仕組みを重視。 - NIST SP 800-63-4（デジタルID指針・2025年最終確定版）：本人確認や認証の「信頼度」を段階的に整理し直し、顔・指紋などの生体認証が本物かを判定する要件や、操作・行動を含めた継続的な本人確認の考え方を明文化。 - NIST AI RMF 1.0（2023）：生成AIやDeepfakeによるなりすまし等を含むAIリスク管理の枠組み。認証・本人確認分野でAIを使う際の留意点や対策方針の参照点。 - DoD Zero Trust Strategy（2022）：国防分野でゼロトラストを体系的に実装。利用者の端末が本当に正規の状態かを遠隔で確認する仕組みまで含めた実装像を提示。
標準化・規制スケジュール (優先度が表れる場所)	- 耐量子計算機暗号（PQC）の標準化：将来の量子計算機でも破られにくい暗号方式を、政府標準として正式採用（2024年～）。認証・電子署名の安全性を長期的に確保することが国家優先事項であることを明示。 - Zero Trust実行ロードマップ（2024）：運用面で何をいつまでに実現するかを整理（端末管理、アクセス制御、遠隔管理等）。 - CISA Zero Trust Maturity Model v2.0（2023）：連邦機関向け成熟度モデルとして、アイデンティティ管理で最低限備えるべき能力水準を具体化。
公的R&Dプログラム (投資＝将来課題の優先投資)	- NIST：生体認証のなりすまし耐性評価や、認証データを安全に扱う仕組み、利用者の行動を踏まえた本人確認の評価方法に関する試験環境を整備。 - DARPA：操作の癖などを用いた認証の期的な信頼性、Deepfake等のAI攻撃への耐性、認証データの保護技術を研究テーマとして継続。 - DoD／CISA：端末が改ざんされていないことを技術的に証明する仕組みを、重要インフラ分野へ導入するための実装寄り研究。
議会・審議・白書など	- 選挙とDeepfake対策を巡る公聴会・政策提言が増加し、なりすましや偽情報対策としての認証技術が政治的優先課題化。 - 国家AI施策において、コンテンツの真正性やAIモデルのリスク管理に関する議論が拡大。
調達・義務化動向	- 連邦調達：M-22-09準拠により、フィッシングに強い多要素認証の導入が事実上必須化。 - DoD契約：ゼロトラスト要件と連動し、利用者端末の安全性を確認する仕組みの要件化が進展。

2-3. 本人確認・認証システム

2-3-2-2-3. 海外の動向 国別の取組み／研究開発の担い手と役割（米国）

米国では、本人確認・認証に関する研究開発を**単一の制度設計**としてではなく、**評価・標準・実証・実装を分担する研究エコシステム**として構築している。NISTによる評価指標・標準化、DARPAによる先端の実証研究、NSF等による学術基盤形成、MITRE等による実装指針への翻訳が連動しており、**研究成果が政府調達や運用要件を通じて段階的に制度・実装へ接続される構造**が特徴である。

組織区分	中核組織	代表的な研究・プログラム	主に生み出される研究成果
標準・評価機関	NIST (National Institute of Standards and Technology) 本人確認・認証の基本概念整理、評価指標・測定手法の確立と標準化	NIST SP 800-63 Biometric Standards Program FRTE	評価論文、ベンチマーク、制度直結型技術文書
応用・社会実装研究	NIST + 大学・非営利 学術界・市民社会と連携し、社会実装を見据えた応用研究／公平性・プライバシー検証を実施	公的助成研究 (ID・Biometrics)	応用論文、制度設計への示唆
防衛・先端研究機関	DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) 将来脅威を見据えた非連続・挑戦的研究の推進	Active Authentication Program	概念論文、PoC（試作・実証）、実証結果
連邦助成機関	NSF 等 (National Science Foundation) 学術コミュニティ主導の基礎～応用研究の期支援	NSF Research.gov MFA 等	学術論文、長期研究成果
実装・接続組織 (FFRDC)	MITRE (NCCoE) (政府支援研究開発法人) 標準・研究成果を実運用要件・実装指針へ翻訳	National Cybersecurity FFRDC	実装ガイド、参照アーキテクチャ
学際連携組織	I3P 等 (Institute for Information Infrastructure Protection) 重要インフラ分野を対象とした産学官連携R&D	インフラ防護研究	実装前提の応用研究

2-3. 本人確認・認証システム

2-3-2-3-1. 海外の動向 国別の取組み／戦略文書（EU）

EUは、本人確認・認証を国家単位で一元化するのではなく、制度・標準・認証を通じて域内で相互運用可能なIDエコシステムの構築を進めている。eIDAS2.0を軸に、NIS2や認証制度を連動させ、本人確認をサイバー耐性の構成要素として制度的に位置付け、基盤技術・評価技術の研究開発を促進している点が特徴である。

文書名	主体	位置付け・主旨	研究開発の方向性（要点）
European Digital Identity Framework / eIDAS 2.0	欧州委員会	本人確認・信頼サービスをEU域内で統合・高度化するための基本制度	統一的な国民IDは構築せず、EU共通ウォレット（EUDI Wallet）を中核に相互運用性・信頼性・プライバシーを確保。方式非依存とし、ID・属性証明・電子署名等の基盤技術・評価技術の研究開発を誘導
EU Cybersecurity Strategy	欧州委員会／EEAS	EU全体のサイバーセキュリティ戦略	アイデンティティをデジタル・サイバー耐性の中核要素と位置付け。認証を静的手段に留めず、継続的な信頼判断を可能とする技術・運用の高度化を推進
NIS2 Directive	EU（加盟国実装）	重要分野横断のサイバーセキュリティ義務化	重要事業者に対し、ID管理・認証・アクセス制御を含む組織的対策を要求。技術単体ではなく、運用・ガバナンスと一体での実装を前提とした研究開発・標準活用を促進
EU Cybersecurity Act / EUCC	欧州委員会／ENISA	サイバーセキュリティ認証の制度基盤	本人確認・認証関連製品・サービスを含むセキュリティ機能の評価・認証枠組みを制度化。共通基準（CC）等を活用し、評価・保証技術の研究開発と市場展開を誘導
Cyber Resilience Act (CRA)	欧州委員会	デジタル製品・サービスのセキュリティ規制	製品ライフサイクル全体でのセキュリティ要件を法的に義務付け。ID・認証機能を含む製品の設計段階からの安全性確保を求め、基盤技術・検証技術の高度化を促進

2-3. 本人確認・認証システム

2-3-2-3-2. 海外の動向 国別の取組み／政策・施策（EU）

EUでは、本人確認・認証を**単一技術や単一制度に依存せず**、デジタルID、サイバーセキュリティ、製品規制、認証制度を段階的に連動させることで、**域内全体としての信頼基盤を構築するアプローチ**を採っている。戦略文書から規制・標準、研究開発、調達・義務化までが一体的に設計されており、**制度実装そのものが研究開発の方向性を規定する構造**が特徴である。

区分	内容
戦略文書・ロードマップ （中長期の方向性）	• eIDAS 2.0 / European Digital Identity Framework：本人確認・信頼サービスをEU全体のデジタル基盤として位置付け、EU共通ウォレット（EUDI Wallet）を中核に相互運用可能なIDエコシステムを構築。 • EU Cybersecurity Strategy：アイデンティティをサイバー耐性の基盤要素と明確化し、本人確認・認証を継続的な信頼判断の仕組みとして高度化する方向性を提示。
標準化・規制スケジュール （優先度が表れる場所）	• NIS2 Directive：重要分野の事業者に対し、ID管理・認証・アクセス制御を含む組織的対策を法的義務として要求。 • Cyber Resilience Act（CRA）：製品ライフサイクル全体でのセキュリティ確保を義務化し、本人確認・認証機能を含む製品設計段階からの安全性確保を要求するもの。2024年成立、2026年より段階的義務化開始。
公的R&Dプログラム （投資＝将来課題の優先投）	• Horizon Europe / Digital Europe Programme：デジタルID、信頼サービス、プライバシー保護技術、相互運用性確保技術に関する研究開発を重点支援。 • EUDI Wallet関連実証：ID・属性証明・電子署名の実装・評価・相互運用性検証を通じ、制度実装を前提とした技術成熟を促進。
議会・審議・白書など	• 欧州議会・理事会において、デジタル主権・プライバシー・越境利用を巡る議論が継続。 • 本人確認を市場統合・市民の権利保護の両立手段として位置付ける政策議論が進展。
調達・義務化動向	• eIDAS 2.0、NIS2、CRAを通じ、加盟国・事業者・製品レベルで段階的な実装が事実上義務化。 • 認証制度（EUCC）を活用し、評価・保証を伴う本人確認・認証技術の市場導入を誘導。

2-3. 本人確認・認証システム

2-3-2-3-3. 海外の動向 国別の取組み／研究開発の担い手と役割（EU）

EUでは、本人確認・認証に関する研究開発を**単一機関に集約せず**、標準・評価、応用研究、実装支援、官民連携を分担する形でエコシステムとして構築している。特に、eIDAS2.0やNIS2等の制度実装と連動し、**相互運用性・評価・実装可能性を前提とした研究開発**が推進されている点に特徴がある。

組織区分	中核組織	代表的な研究・プログラム	主に生み出される研究成果
標準・評価機関	ENISA (European Network and Information Security Agency) ・ EUのサイバーセキュリティ政策・認証を担う専門機関	EU Cybersecurity Act／ EUCC (共通認証枠組み) eIDAS2.0関連ガイドライン	評価基準、認証スキーム、実装ガイダンス
応用・社会実装研究	JRC (Joint Research Centre) ・ 欧州委員会直属の科学的助言・実証研究機関	デジタルID・信頼サービスの実証研究 プライバシー保護・相互運用性検証	応用研究成果、制度実装への技術的示唆
防衛・先端研究機関	EDA (European Defence Agency) ・ EU防衛協力を担う研究・能力開発機関	防衛・安全保障分野におけるID・認証技術研究	概念研究、実証結果、運用知見
EU助成プログラム	Horizon Europe Digital Europe Programme ・ EU全体の研究・デジタル投資枠組み	デジタルID、信頼サービス、サイバーセキュリティ関連R&D	学術論文、技術成果、標準・制度反映
実装・接続組織	ENISA／加盟国当局 ・ EU全体の研究・デジタル投資枠組み	EUDI Wallet大規模実証 (LSP) EUCC導入支援	実装ガイド、相互運用アーキテクチャ
産学官連携組織	Large-Scale Pilots (LSP) ・ 官民連携による欧州横断実証コンソーシアム	欧州横断ID実証・相互運用試験	実装前提の応用研究成果

2-3. 本人確認・認証システム

2-3-2-4-1. 海外の動向 国別の取組み／戦略文書（英国）

英国は、本人確認・認証を国家IDとして統合せず、信頼フレームワークにより民間を含む認証サービスを統制・活用している。国家サイバー戦略等と連動し、本人確認を継続的な信頼判断を担う基盤能力として位置付け、基盤技術・評価・運用ノウハウの高度化を推進している。

文書名	主体	位置付け・主旨	研究開発の方向性（要点）
UK Digital Identity and Attributes Trust Framework (DIATF)	DCMS（科学・イノベーション・技術省）	本人確認・属性証明の信頼性を確保するための共通枠組み	統一的な国民IDは構築せず、民間主体を含む認証サービスを信頼フレームワークで統制。方式非依存とし、本人確認・属性証明・認証プロセスの基盤技術・評価技術の高度化を誘導
National Cyber Strategy (2022/2023)	英国政府	サイバーセキュリティ全体の国家戦略	アイデンティティをサイバー防御の基盤能力と位置付け。認証を静的手段に留めず、継続的に信頼を判断する運用・技術の高度化を重視
Government Cyber Security Strategy	内閣府（Cabinet Office）	政府横断のIT・セキュリティ強化方針	政府サービスにおけるID管理・認証・アクセス制御の高度化を推進。ゼロトラストを前提とし、人・端末・行動を含む信頼判断技術の研究開発・導入を促進

2-3. 本人確認・認証システム

2-3-2-4-2. 海外の動向 国別の取組み／政策・施策（英国）

英国では、本人確認・認証を**国家IDとして一元化するのではなく**、信頼フレームワークと運用・評価能力を通じて社会実装を進めるアプローチを採っている。サイバーセキュリティ戦略や政府IT方針と連動し、本人確認を**サイバー防御およびデジタルサービスの基盤能力**として位置付けており、研究開発においても、特定技術の高度化より**継続的な信頼判断・評価・運用を可能とする実装能力**が重視されている。

区分	内容
戦略文書・ロードマップ （中長期の方向性）	• National Cyber Strategy（2022/2023）：本人確認・認証をサイバー防御の基盤能力として位置付け、静的なログイン手段ではなく、継続的な信頼判断を行う方向性を提示。 • Digital Identity Programme方針：統一的な国家IDは構築せず、民間を含む多様なIDサービスを信頼枠組みで活用する方針を明確化。
標準化・規制スケジュール （優先度が表れる場所）	• Digital Identity and Attributes Trust Framework（DIATF）：本人確認・属性証明サービスに対する要件・評価基準を整理し、方式非依存での実装を誘導。 • 強制的な義務化は限定的である一方、公共調達・政府サービスでの適合要求を通じて普及を促進。
公的R&Dプログラム （投資＝将来課題の優先投）	• UKRI等による研究支援：本人確認、認証、不正検知、プライバシー保護技術に関する応用研究を支援。 • AI Safety Institute関連取組：Deepfake等を含む新たななりすましリスクを踏まえ、認証・本人確認の評価・運用上の課題整理を推進。
議会・審議・白書など	• 議会・政府報告において、オンライン不正、なりすまし、偽情報対策の文脈で本人確認の在り方が継続的に議論。 • AI利用拡大に伴う認証・真正性確保の重要性が政策論点化。
調達・義務化動向	• 政府サービス調達やG-Cloud等を通じ、DIATF準拠の本人確認・認証サービスの利用が事実上推奨。 • ゼロトラスト方針と連動し、端末・利用者・行動を含む信頼判断を行う仕組みの導入が進展。

2-3. 本人確認・認証システム

2-3-2-4-3. 海外の動向 国別の取組み／研究開発の担い手と役割（英国）

英国では、本人確認・認証の研究開発を**国家IDの集中整備ではなく、評価・運用能力の高度化**に重点を置いて推進している。信頼フレームワーク（DIATF）と政府IT・サイバー戦略を軸に、学術研究・応用研究・実装支援が連動し、**継続的な信頼判断・実装可能性を高める成果**の創出が志向されている。

組織区分	中核組織	代表的な研究・プログラム	主に生み出される研究成果
標準・評価機関	DSIT （Department for Science, Innovation and Technology） / Cabinet Office ・ デジタル・ID政策および政府横断基準を所管	DIATF（Digital Identity and Attributes Trust Framework） 政府デジタル基準	評価基準、適合要件、運用ガイドンス
応用・社会実装研究	UKRI （Research Councils） 大学・非営利 ・ 英国全体の公的研究資金配分・研究推進機関	公的助成（ID・Biometrics・不正対策）	応用論文、制度設計への示唆
防衛・先端研究機関	Dstl （Defence Science and Technology Laboratory） ・ 国防分野の先端技術研究・評価を担う研究機関	行動認証・継続的認証の研究	概念研究、PoC、運用知見
政府横断実装組織	GDS （Government Digital Service） ・ 政府デジタルサービスの設計・運用を担う実装組織	政府ID/アクセス管理の運用高度化	実装ガイド、運用ベストプラクティス
産学官連携組織	産学官コンソーシアム ・ 政府・大学・民間による実証・評価連携体	官民実証・評価プロジェクト	実装前提の応用研究成果

※英国は、EUのように本人確認分野を名指した大型助成プログラムを設けておらず、研究資金配分や調達・評価要件を通じて間接的に方向づけるアプローチを採用しているため、本表では独立した**助成プログラム**として整理していない。

2-3. 本人確認・認証システム

2-3-2-5-1. 海外の動向 国別の取組み／戦略文書（中国）

中国では、本人確認・認証を**国家統制の中核要素**として位置付け、統一的なID基盤と実名制を前提に大規模実装を進めている。技術方式や制度の柔軟性よりも、**統制力と運用規模による社会実装**を優先しており、日本の制度・価値観とは前提が大きく異なる。そのため、技術や制度を直接参照する対象ではなく、**本人確認が国家運営に与える影響の大きさを示す比較事例**として位置付けられる。

文書名	主体	位置付け・主旨	研究開発の方向性（要点）
国家ネットワーク身分認証公共サービス	国家インターネット情報弁公室 等	国家主導の統一的本人確認基盤	実名制を前提に、 国家統一IDと認証を公共サービスとして提供 。方式を固定し、 大規模・強制的な社会実装 を通じて運用を最適化
個人情報保護法（PIPL）	全国人民代表大会	個人情報の管理・統制に関する基本法	本人情報の取得・利用を法的に統制しつつ、 国家による集中的管理を可能とする枠組み を構築
データ安全法	全国人民代表大会	データ管理・越境の安全確保	本人確認データを含む重要データを 国家安全保障の観点から管理 。技術よりも 統制・運用を重視
顔認証等の国家標準群	国家標準化管理委員会	生体認証の技術標準	顔認証等を中心に、 公共・金融・都市管理での広範な実装 を前提とした標準整備

2-3. 本人確認・認証システム

2-3-2-5-2. 海外の動向 国別の取組み／政策・施策（中国）

中国では、本人確認・認証をサイバー防御の構成要素に留めず、国家統治・社会管理の基盤として位置付け、実名制と大規模データ運用を前提に社会実装を進めている。政策・規制・標準・運用が中央集権的に連動しており、研究開発の方向性も、方式の多様性より**統制下での大規模運用・監督可能性（管理・検知・抑止）を高める技術**に重心が置かれる点が特徴である。

区分	内容
戦略文書・ロードマップ （中長期の方向性）	・ 国家安全保障・サイバー安全の上位方針：本人確認・実名制を社会の基盤として位置付け、オンライン空間の統治・秩序維持と一体で推進。 ・ ポータル政府・公共サービス高度化方針：行政・金融・プラットフォーム領域で、本人確認を前提としたサービス運用を拡大。 ・ 改正サイバーセキュリティ法（2026年1月施行）：本人確認の厳格化と、AI生成コンテンツの真正性確認を法的義務化。
標準化・規制スケジュール （優先度が表れる場所）	・ 実名制を前提とした規制運用：プラットフォーム等に対し、本人確認・登録情報の管理を強く要求し、違反時の是正・処分を通じて実装を加速。 ・ 顔認証等の技術標準群：公共・金融等での広範実装を前提に、精度・運用・管理面の標準整備を進展。 ・ 国家ネットワーク身分認証管理弁法（2025年7月施行）：10億人規模を対象とした「網号（ネットID）」の公的発行を開始。
公的R&Dプログラム （投資＝将来課題の優先投）	・ 監督・統制を支える技術開発：大規模本人確認の運用を前提に、不正検知・監視・異常検知、真正性確認等の研究開発を推進。 ・ 国産化・内製化の推進：重要領域での外部依存低減を目的に、関連要素技術・サプライチェーンの国産化を促進。 ・ データ安全法に基づく「重要データ」管理技術：アイデンティティ情報を重要データと定義し、高度な暗号化と越境制限を課す技術開発。
議会・審議・白書など	・ オンライン不正・詐欺・偽情報・治安維持の観点から、本人確認・認証を強化する政策議論が継続。 ・ データの安全・越境・重要情報管理の論点と結びつき、本人確認データの管理強化が進展。
調達・義務化動向	・ 行政・金融・公共サービスでの本人確認要求が拡大し、プラットフォーム等に対する実装要求を通じて事実上の義務化が進行。 ・ 重要領域では、国産技術採用・供給網管理と連動した導入が進展。 ・ プラットフォーム事業者への「網証（電子証明）」受け入れ義務化。未対応企業への罰則（売上高5%以下の過料等）の適用開始。

2-3. 本人確認・認証システム

2-3-2-5-3. 海外の動向 国別の取組み／研究開発の担い手と役割（中国）

中国では、本人確認・認証に関する研究開発を**国家統治・社会管理の中核インフラ**として位置付け、標準化・研究・実装を中央集権的に統合して推進している。学術研究や先端技術開発も、**大規模運用・監督・統制を前提とした実装成果**へと接続されており、研究成果が政策・規制・公共サービスに迅速に反映される点に特徴がある。

組織区分	中核組織	代表的な研究・プログラム	主に生み出される研究成果
標準・評価機関	国家標準化管理委員会 - 国家標準の策定・統括を担う中央機関 公安部第三研究所 - 公共安全分野の技術標準・評価を担う研究機関	顔認証・生体認証の国家標準 群実名制関連技術仕様	技術標準、運用要件、評価仕様
応用・社会実装研究	中国科学院（CAS） 国家最高レベルの総合研究機関 主要大学	生体認証、行動認証、不正検知の応用研究	応用論文、実装前提の技術成果
防衛・先端研究機関	国内大学	高度認証・監視・真正性確認技術	概念研究、実証結果
国家R&D計画	国家重点研究開発計画 国家戦略分野を対象とする中央主導R&D枠組み	デジタル政府、公共安全向けID・認証技術	研究成果の制度・公共実装
実装・接続組織	行政機関 本人確認を公共サービス・社会管理に実装する主体 主要プラットフォーム事業者	公共サービス・金融・都市管理での大規模導入	運用ノウハウ、実装モデル
産学官連携組織	官主導コンソーシアム 国産技術採用を前提とした共同研究体制	国産技術採用を前提とした共同研究	国産化技術、供給網整備

2-3. 本人確認・認証システム

2-3-2-6-1. 海外の動向 国別の取組み／戦略文書（インド）

インドでは、本人確認を**公共デジタル基盤**として整備し、Aadhaarを中核に官民連携で大規模展開している。本人確認・e-KYC・決済等をAPIとして提供することで、**低コストかつ全国規模での社会実装**を実現している点が特徴である。一方で、高信頼用途への適用やプライバシー設計には調整余地があり、日本にとっては、**制度・品質面**を補完した上で**公共基盤型アプローチの設計思想を参照すべき事例**と位置付けられる。

文書名	主体	位置付け・主旨	研究開発の方向性（要点）
Aadhaar Act	インド政府	国民ID（Aadhaar）の法的基盤	生体情報を用いた 全国規模の本人確認基盤 を整備。本人確認を公共インフラとして位置付け、 大規模・低コスト運用を前提 とした技術設計
India Stack	インド政府	デジタル公共基盤の全体構想	Aadhaarを核に、 本人確認・e-KYC・電子署名・決済をAPIとして提供 。官が基盤を整備し、民がサービス展開
Digital Personal Data Protection Act	インド政府	個人データ保護の法制度	本人確認データの利用を規律しつつ、 公共基盤としての活用を前提 とした制度設計。2025年11月：DPDP規則（Rules）公布、データ保護委員会(DPBI)の本格稼働。
e-KYC ガイドライン	行政機関	金融・行政における本人確認運用	本人確認を 迅速・低コストに実施する運用モデル を整備。精緻性よりスケールを重視

2-3. 本人確認・認証システム

2-3-2-6-2. 海外の動向 国別の取組み／政策・施策（インド）

インドでは、本人確認を国家統治やサイバー防御の統制手段としてではなく、**公共デジタル基盤（Digital Public Infrastructure）**として整備し、官民連携により大規模展開するアプローチを採っている。Aadhaarを中核に、本人確認・e-KYC・決済等をAPIとして提供することで、**低コストかつ全国規模での社会実装を優先**しており、研究開発や制度設計も、精緻性よりスケールと再利用性を重視する点に特徴がある。

区分	内容
戦略文書・ロードマップ （中長期の方向性）	• Digital India / Digital Public Infrastructure構想：本人確認を公共サービス・民間サービス双方の基盤として位置付け、国全体のデジタル化を推進。 • Aadhaar制度方針：国民IDを全国共通インフラとして維持・高度化し、行政・金融・民間利用を前提に展開。
標準化・規制スケジュール （優先度が表れる場所）	• Aadhaar Actおよび関連規則：本人確認・生体情報の利用を法的に位置付け、全国規模での運用を担保。 • e-KYC運用ルール：金融・行政分野での本人確認を迅速・低コストで実施する枠組みを整備。
公的R&Dプログラム （投資＝将来課題の優先投）	• GovTech／DPI関連研究支援：本人確認、デジタル署名、プライバシー保護技術等を公共基盤として実装するための応用研究を推進。 • 大規模運用を前提とした性能・可用性・コスト最適化に重点。
議会・審議・白書など	• 国会・政策文書において、デジタル包摂、金融アクセス向上、不正防止の観点から本人確認の役割が継続的に議論。 • プライバシー保護と公共基盤利用のバランスが主要論点。
調達・義務化動向	• 行政・金融サービスにおいて、Aadhaarベースの本人確認・e-KYCが事実上の標準手段として定着。 • 官が基盤を提供し、民間がその上でサービス展開する形で利用が拡大。

2-3. 本人確認・認証システム

2-3-2-6-3. 海外の動向 国別の取組み／研究開発の担い手と役割（インド）

インドでは、本人確認・認証を公共デジタル基盤（Digital Public Infrastructure, DPI）として整備し、官が基盤を提供、民がその上で競争・拡張するモデルを採っている。Aadhaarを中核に、e-KYCや決済等をAPIとして横断利用可能にすることで、**低コスト・大規模実装を優先**する研究・実装エコシステムが形成されている。

組織区分	中核組織	代表的な研究・プログラム	主に生み出される研究成果
標準・制度設計	Unique Identification Authority of India（UIDAI） 国民ID「Aadhaar」を所管し、本人確認の制度・運用基準を策定	Aadhaar制度設計・運用ガイド	運用仕様、相互接続要件
公共デジタル基盤（DPI）	India Stack 本人確認・e-KYC・電子署名・決済をAPIで提供する国家基盤	India Stack API群	再利用可能な基盤アーキテクチャ
政策・GovTech推進	Ministry of Electronics and Information Technology（MeitY） 電子政府・デジタル政策を統括	Digital India / DPI推進	実装指針、ガバナンス設計
応用・社会実装研究	大学・研究機関／スタートアップ 官基盤を活用した応用研究の担い手	生体認証、不正検知、プライバシー保護	応用論文、実装知見
規制・運用ルール	行政機関 e-KYC等の運用ルールを所管	e-KYCガイドライン	運用ベストプラクティス
産学官連携	官民連携エコシステム API公開を前提とした参加型連携	官民実証・スケール展開	大規模運用ノウハウ

2-3. 本人確認・認証システム

2-3-2-7-1. 海外の動向 国別の取組み／戦略文書（日本）

日本において、本人確認・認証システムに関する研究開発や制度整備の方向性は、デジタル社会の実現に向けた政策の中で整理されている。特に、マイナンバーカードを基盤とする公的個人認証サービスの整備をはじめとするトラストサービスの確立などが重要政策課題として位置付けられている。また、AIや生体認証技術を活用した本人認証技術の高度化、データ流通における信頼確保のためのアーキテクチャ設計などが政策文書において示されている。

文書名	主体	位置付け・主旨	研究開発の方向性（要点）
デジタル社会形成基本法	日本政府	日本のデジタル政策の基本理念と推進体制を定めた基本法。デジタル社会の基盤整備を国家戦略として位置付け	デジタルID基盤、オンライン行政サービス、信頼性の高いデータ流通基盤の整備
デジタル社会の実現に向けた重点計画	デジタル庁	デジタル社会形成基本法に基づく政府のデジタル政策の基本計画	マイナンバーカードの普及・活用、公的個人認証（JPKI）の高度化、行政サービスのオンライン化
Trusted Web ホワイトペーパー	経済産業省	データ流通における信頼確保のためのアーキテクチャと政策方向を示した政策文書	データ真正性保証、分散型トラスト基盤、ID・認証と連携した信頼基盤の構築
トラストを確保したDX推進サブワーキンググループ報告書	経済産業省	デジタル取引におけるトラストサービスの制度設計を整理	電子署名、タイムスタンプ等のトラストサービスの整備
AI戦略2022	内閣府	AI研究開発および社会実装の方向性を示す国家戦略	AIを活用した生体認証、セキュリティ・認証技術の高度化
デジタル社会推進標準ガイドライン	デジタル庁	行政情報システムやデジタルサービスの設計・運用に関する政府標準を示す技術指針	デジタルID、認証基盤、セキュリティ要件など政府システムの設計原則を整理

2-3. 本人確認・認証システム

2-3-2-7-2. 海外の動向 国別の取組み／政策・施策（日本）

日本において、本人確認・認証システムに関する政策・施策は、デジタル社会の実現に向けた政府方針の中で、**行政サービスのオンライン化やデータ流通における信頼確保の基盤**として位置付けられている。特に、マイナンバーカードを基盤とする公的個人認証サービス（JPKI）の拡張や、トラストサービスの制度整備等を通じて、安全かつ信頼性の高いデジタル認証基盤の整備が進められている。

区分	内容
① 戦略文書・ロードマップ（中長期の方向性）	デジタル社会の実現に向けた重点計画（デジタル庁） ：マイナンバーカードを基盤とする公的個人認証サービス（JPKI）の高度化やスマートフォン搭載電子証明書の導入等により、行政・民間サービスにおけるオンライン本人確認基盤の整備を推進。 Trusted Web ホワイトペーパー（経済産業省） ：データやコンテンツの真正性を担保するトラスト基盤の構築を提言し、ID・認証と連携した信頼性確保の仕組みの整備を提示。
② 標準化・規制スケジュール（優先度が表れる場所）	公的個人認証サービス（JPKI） ：マイナンバーカードの電子証明書を用いたオンライン本人確認基盤として行政・民間サービスで利用を拡大。 デジタル社会推進標準ガイドライン（デジタル庁） ：政府情報システムにおける認証方式やセキュリティ要件を整理し、行政サービスのデジタル認証基盤の標準化を推進。
③ 公的R&Dプログラム（投資＝将来課題の“優先投票”）	NICT ：生体認証技術やプライバシー保護通信技術の研究を推進し、安全な本人確認・認証基盤の高度化に資する研究開発を実施。 JST ：CREST等の研究助成を通じ、セキュリティ・認証技術やプライバシー保護技術の基礎研究を支援。
④ 議会・審議・白書など	経済産業省「トラストを確保したDX推進サブワーキンググループ」 ：電子署名やタイムスタンプ等のトラストサービスの制度設計や運用の在り方を検討し、デジタル取引における信頼確保のための政策方向を整理。
⑤ 調達・義務化動向	デジタル庁 ：行政手続オンライン化の推進に伴い、公的個人認証サービスやマイナンバーカードを活用した本人確認の導入を行政サービスにおいて推進。

2-3. 本人確認・認証システム

2-3-2-7-3. 海外の動向 国別の取組み／研究開発の担い手と役割（日本）

日本では、本人確認・認証に関する研究開発を、単一の国家ID制度に閉じず、公的個人認証を核として**官民により実装・運用高度化を分担**して進めている。特に、マイナンバーカード／公的個人認証サービスの拡張、本人確認ガイドライン改定、Trusted Web、プライバシー保護型認証や真正性保証技術の研究が並行して進んでおり、**制度実装と研究開発が接続した構造に特徴**がある。

組織区分	中核組織	代表的な研究・プログラム	主に生み出される研究成果
標準・制度設計	デジタル庁 行政手続における本人確認基準やデジタル認証基盤の設計を担う中核行政機関	本人確認ガイドライン、スマホ用電子証明書、Trusted Web関連施策	制度設計文書、実装指針、行政向け基準
公的認証基盤	J-LIS／公的個人認証サービス（JPKI） マイナンバーカードの電子証明書を用いた公的本人確認基盤を提供	公的個人認証サービス、マイナンバーカード電子証明書基盤	本人確認基盤、電子証明書運用、行政・民間接続基盤
実装指針・アーキテクチャ	IPA（DADC含む） 民間を含むデジタル本人確認・トラストの実装指針やアーキテクチャ整理を担う	サービスに応じたデジタル本人確認ガイドライン検討、デジタルアーキテクチャ設計	ガイドライン、参照モデル、制度設計への示唆
応用・社会実装研究	NICT 生体認証データ保護や量子セキュア通信等、認証の高度化に資する応用研究を推進	生体認証データの高秘匿伝送・保管、量子セキュアクラウド関連研究	応用論文、PoC、秘匿化・安全伝送技術
基礎・先端研究	産業技術総合研究所（AIST／CPSEC） 生体情報・人工物・真正性保証を含む先端的な認証・真贋判定技術を研究	次世代プライバシー保護型生体認証、人工物メトリクス、ファジー署名	基礎理論、アルゴリズム、真正性保証技術
学術研究機関	国内大学 トラスト、ID、属性証明、プライバシー保護認証の基礎～応用研究を担う	VC／属性証明、分散ID、認証AI、コンテンツ真正性研究	学術論文、プロトタイプ、設計理論
産業界・実装主体	民間企業等 生体認証・ID管理・認証基盤を実装し、行政・金融・インフラへ展開する中核企業群	顔認証、ID管理、認証基盤、トラストサービス実装	商用システム、運用ノウハウ、社会実装知見
研究助成・橋渡し	JST 基礎研究から社会還元までを支える研究資金供給・橋渡し機能を担う	CREST等の関連研究支援	長期研究成果、基礎論文、研究ネットワーク

2-3. 本人確認・認証システム

2-3-2-8. 海外の動向 対象テーマの領域における主な研究論文

①～③の各テーマを代表し、国際的に参照・引用されることの多い研究論文を下表に整理した。

テーマ	論文名	国／機関	概要	実用化課題
①本人確認・ 認証の基盤 の高度化	An Introduction to Evaluating Biometric Systems (Phillips et al., 2000)	米国／NIST	生体認証の精度・誤り率（FAR・FRR等）および評価指標を体系化し、認証システムの性能評価手法を整理。【評価研究】	実環境（照明条件・経年変化・攻撃耐性）での性能差、評価結果の制度・調達要件への反映
	Face Recognition Vendor Test (FRVT): Part 1: Verification (Grother et al., 2019)	米国／NIST	顔認証アルゴリズムを大規模・継続的に評価し、精度・バイアス・環境耐性を比較。【評価研究】	公平性・プライバシー配慮と高精度化の両立、評価結果の制度化
	An Efficient System for Non-transferable Anonymous Credentials with Optional Anonymity Revocation	米国／IBM Research / Microsoft Research	匿名資格証明（anonymous credentials）により属性証明と選択的開示を可能にするID管理方式を提案。【基礎理論】	ユーザビリティ、既存ID基盤との相互運用、制度要件との整合
	Regulation (EU) No 910/2014 on Electronic Identification and Trust Services (eIDAS)	EU／欧州委員会	電子IDおよび電子署名の保証水準（LoA）を制度・技術両面から整理し、越境デジタルIDの信頼基盤を提示。【制度・技術】	各国制度との相互承認、民間IDとの接続、実装の一貫性
②行為・署名 の真正性保 証	Secure Audit Logs to Support Computer Forensics (Schneier & Kelsey, 1999)	米国／Counterpane Labs	改ざん耐性ログ（tamper-evident logging）の概念を提示し、証拠保全を暗号的に実現する方式を提案。【基礎理論】	ログ量増大への対応、リアルタイム監査、運用コスト
	How to Sign Digital Streams (Perrig et al., 2000)	米国／Carnegie Mellon University	長期保存データに対するストリーム署名手法を提案し、長期検証可能な署名モデルを整理。【基礎理論】	鍵管理、再署名運用の複雑さ、長期保存制度との整合
	Report on Post-Quantum Cryptography (NIST IR 8105) (Chen et al., 2016)	米国／NIST	量子計算機時代に耐性を持つ公開鍵暗号・署名方式の研究状況を整理し、標準化に向けた課題を提示。【基礎研究】	署名サイズ・計算量、既存PKIからの移行コスト
③本人・端末 の継続的信 頼保証	Active Authentication on Mobile Devices (DARPA program)	米国／DARPA	行動・生体情報を用いた継続的本人確認（continuous authentication）の概念と研究枠組みを提示。【実証研究】	誤検知時のUX、プライバシー保護、運用時の説明責任
	Continuous Authentication Using Behavioral Biometrics	米国／IEEE研究コミュニティ	キーストローク等の行動特徴を用いた継続認証の手法と評価を整理。【実証研究】	個人差・環境変動への耐性、長期安定性
	Keystroke Dynamics for User Authentication and Identification	英国／研究コミュニティ	キーストロークダイナミクスによるユーザ認証の有効性と限界を実験的に評価。【実証研究】	誤判定率、利用者受容性
	Intel SGX Explained (Costan & Devadas, 2016)	米国／MIT・Intel	TEE（Trusted Execution Environment）による端末信頼性とリモートアテステーションの仕組みを整理。【実装研究】	ハード依存、実装差異、クラウド連携

2. 各技術領域における検討

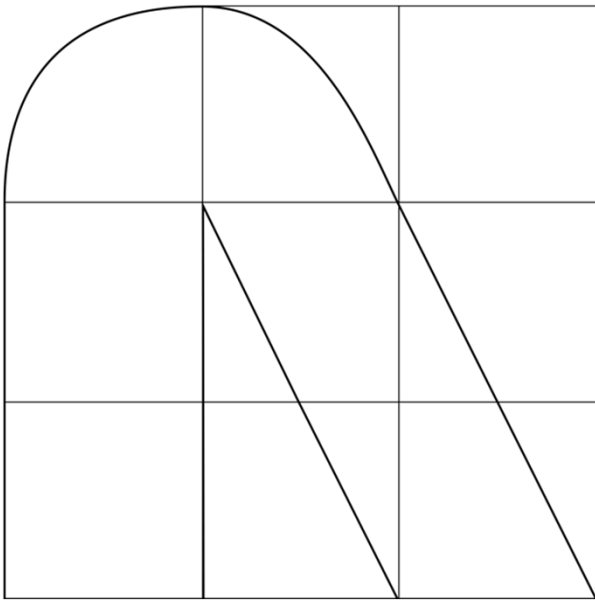
2-1. 災害・医療用ロボット技術

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-3. 本人確認・認証システム

2-4. ドローン検知・対処技術

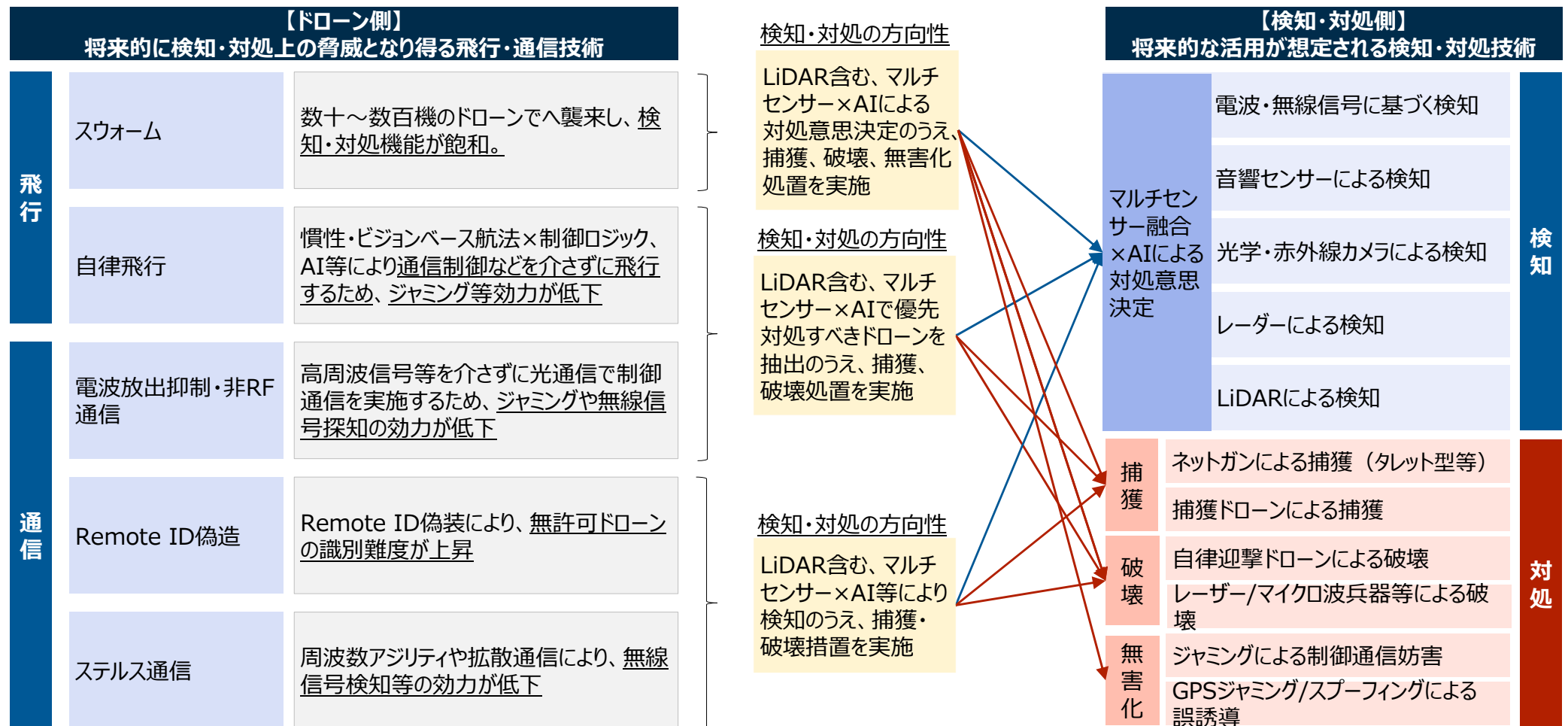
2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）



2-4. ドローン検知・対処技術

2-4-1-1. 技術・ユースケースの整理

ドローン検知・対処に脅威となり得るドローン側の飛行・通信技術を踏まえ、将来的な活用が想定されるドローン検知・対処技術を整理した。



2-4. ドローン検知・対処技術

2-4-1-2. 技術・ユースケースの評価 今後注視すべきドローン飛行・通信技術

ドローン側の飛行・通信技術を対応優先度、影響度で比較評価した。対応優先度（検知・対処難度）、及び影響度が相対的に高い「自律飛行」「電波放出抑制・非RF通信」に特に注視し、対応する検知技術（テーマ①）、捕獲（テーマ②）、破壊（テーマ③）による対処技術の研究開発動向を調査した※。

※ドローンによる重要施設等への攻撃も想定し、対処技術として「破壊」技術も検討

ドローン側技術						検知・対処技術	
	技術	開発・実用化動向	(対応) 優先度		(対応) 影響度		
			検知難度	対処難度			
飛行	スウォーム飛行	大規模スウォームの研究・実証が行われており、軍事レベルでのスウォーム戦術の実装・演習が進んでいる。ロシアによるウクライナ侵攻では、ロシアがウクライナに対してスウォーム攻撃を実施。	中	高	低	検知	テーマ① マルチセンサー融合×AIによる意思決定
	自律飛行	高度な障害物回避とほぼ完全な自律飛行能力等を有する商用機が実装。軍用においても、自立飛行型ドローンがロシアによるウクライナ侵攻で利用されている。	中	中	高		
	電波放出抑制・非RF通信	特にテザードローンは商用・軍用で現場配備例多数。	中	中	高		
通信	Remote ID偽造	学術PoC（GhostBuster等）でRIDの位置偽装が実証。ロシア等では、Remote IDを無効化する改造ファームウェア「1001」の配信事例有り。	中	低	高	対処	テーマ② 捕獲
	ステルス通信	軍用周波数ホッピング／拡散等の運用実績多数。小型UASでの採用が進めば民用でも検知難度が高まるおそれあり。	中	低	低		テーマ③ 破壊
							無害化

検知・対処の方向性

LiDAR含む、マルチセンサー×AIで優先対処すべきドローンを抽出のうえ、捕獲、破壊処置を実施

【凡例】

優先度（検知難度）：

検知難度に応じて対応優先度を判断

- ・高：いかなる手法でも検知困難
- ・中：特定手法で検知可能
- ・低：あらゆる手法で検知可能

優先度（対処難度）：

対処難度に応じて対応優先度を判断

- ・高：いかなる手法でも飽和リスク有
- ・中：特定手法で対処可
- ・低：いかなる手法でも対処可

影響度：

飛行・通信技術の利用用途に応じて、当該技術への対処による影響度を判断

- ・高：軍事・非軍事用途両方で技術が利用される
- ・中：軍事・非軍事用途両方で利用されるが、軍事用途での利用ケースが相対的に多い
- ・低：基本的に軍事用途でのみ利用される

2-4. ドローン検知・対処技術

2-4-1-3. 技術・ユースケースの評価 重点調査対象とするドローン検知・対処技術

捕獲・破壊技術を「ドローン対処上の有効性」「導入のしやすさ」「一般市民などへの無害性（社会的受容性）」の3つの観点で評価した。比較評価結果を踏まえ、「捕獲ドローンによる捕獲」「自律迎撃ドローンによる破壊」を念頭に整理した。

		優先度 (ドローン対処上の有効性)	影響度	
			導入のしやすさ	一般市民等への無害性 (社会的受容性)
捕獲	ネットガンによる捕獲 (タレット型等)	低	高	高
	捕獲ドローンによる捕獲	中	高	高
破壊	自律迎撃ドローンによる破壊	中	高	中
	レーザー/マイクロ波兵器等による破壊	中	低	低

- 【凡例】

ドローン対処上の有効性：

 - ・高：対処可能範囲や数が多い
 - ・中：対処可能範囲や機数が比較的多いが、
対処優先順位付け等が必要
 - ・低：対処可能範囲や機数が限定的
- 導入のしやすさ：

 - ・高：配備可能箇所や配備コスト面の制約がほとんど無い
 - ・中：配備可能箇所や配備コスト等のいずれかで制約有り
 - ・低：配備可能箇所や配備コスト等で制約有り

2-4. ドローン検知・対処技術

2-4-2-2-1. 海外の動向 国別の取組み／戦略文書（米国）

米国において、ドローン検知・対処技術に関する研究開発の方向性や設計思想を規定している主な戦略文書について整理した。国家としてドローン検知・対処技術をどのような位置づけで捉え、どのような技術的方向性を志向しているかに着目した。

文書名	主体	位置付け・主旨	研究開発の方向性（要点）
Strategy for Countering Unmanned Systems	米国国防総省（DoD）	無人システム（空・陸・海・複合ドメイン）全体を対象に、敵対的無人システムの利用を抑止・無力化するためのDoD横断の包括戦略	無人機の高度自律化・スウォーム化を前提に、検知・追跡・特性把握を防御の中核能力として強化。能動・受動防御を組み合わせた多層対処を志向し、オープンで統合的なC-UASアーキテクチャ、迅速な実証・試験、同盟国との共同開発を重視。
Counter-Small Unmanned Aircraft Systems Strategy	米国国防総省（DoD）	小型無人航空機（sUAS：Group 1-3）を対象に、ハザード（民生・誤使用）から脅威（敵対的利用）までを含めて対処するためのDoD公式戦略	小型ドローンを対象に、検知・追跡・識別を基盤とする対処技術を体系化。センサ融合と共通アーキテクチャによる統合型C-UASへの移行を研究開発の軸とし、実運用環境での試験を通じて、人間の判断を補完する多層防護能力の確立を目指す。

2-4. ドローン検知・対処技術

2-4-2-2-2. 海外の動向 国別の取組み／政策・施策（米国）

米国におけるドローン検知・対処技術に関する主な政策・施策を下表に整理した。
ここでは、研究開発の成果が戦略・標準化、運用ルール等を通じてどのように具体化してきたかに着目し、
制度や運用として現れている状況に着目した。

区分	内容
① 戦略文書・ロードマップ（中長期の方向性）	• Strategy for Countering Unmanned Systems(DoD)：ドローン等の無人システムへの対抗戦略を規定。短期的戦略として探知・防御（能動・受動）の強化。中期的戦略として、より自律的な無人システムへの脅威に備えた装備設計等を標榜。 • MEMORANDUM FOR SENIOR PENTAGON LEADERSHIP COMMANDERS OF THE COMBAT ANT COMMANDS DEFENSE AGENCY AND DOD FIELD ACTIVITY DIRECTORS：C-sUAS技術を統合的に開発・運用するJoint Interagency Task Force 401（JIATF 401）設立方針を提示。本組織は研究開発・試験・評価等の予算を集中管理し、事業1件あたり最大5,000万ドルの迅速投資を承認可能。
② 標準化・規制スケジュール（優先度が表れる場所）	• UAS Detection & Mitigation Systems ARC (Aviation Rulemaking Committee) 最終報告 (FAA)：検知・対処技術が航空機システムや空域運用に悪影響を及ぼさないよう、FAAへ運用・認証の指針を提言。社会的受容性向上等に向けた検知と対処の分離検討や、実証試験や検証プロトコル整備等を低減している。
③ 公的R&Dプログラム（投資＝将来課題の“優先投票”）	• C-UASプログラム (DHS S&T)：ラボ環境と現場運用環境の両方で C-UAS 技術の評価および技術支援。Dark sUAS) 対策試験等も推進。 • Counter-Unmanned Aircraft Systems (C-UAS) Test Bed Program (FAA)：実運用されている空港環境下で C-UAS 技術の実効性と適用性を検証・評価するための継続的なテスト・検証を実施。 • (参考) Joint Interagency Task Force 401：“MEMORANDUM FOR SENIOR PENTAGON LEADERSHIP COMMANDERS OF THE COMBAT ANT COMMANDS DEFENSE AGENCY AND DOD FIELD ACTIVITY DIRECTORS”においてC-sUAS技術を統合的に開発・運用するJoint Interagency Task Force 401（JIATF 401）設立方針を提示。本組織は研究開発・試験・評価等の予算を集中管理し、事業1件あたり最大5,000万ドルの迅速投資を承認可能。
④ 議会・審議・白書など	• C-UASを合法的かつ統制の下で実行するための権限・制度基盤を整備について下院で審議（H.R.8610 – Counter-UAS Authority Security, Safety, and Reauthorization Act）。
⑤ 調達・義務化動向	—

2-4. ドローン検知・対処技術

2-4-2-2-3. 海外の動向 対象テーマの領域における主な研究論文（米国）

米国では一般公開されている①～③のテーマに係る論文が限定的であることから、民間軍事企業や学術機関によるニュースリリース等から研究開発動向を探索した。下表に示す通り、米国では主に軍事用途でドローン検知～対処まで一貫したシステムの開発や検証、実装が進められている。

関連技術	論文名	国／機関	概要	実用化課題
①②③	【ニュースリリース】 Anduril Awarded 10-Year, \$642M Program of Record to Deliver C-UAS Systems for U.S. Marine Corps	米国／Anduril Industries	Latticeを中核とする共通C2により、多センサ検知（レーダ、EO/IR、RF等）→AIによる脅威評価・優先度判断→対処手段の選択（迎撃・無力化等）を一体運用。戦場・前方展開拠点での迅速配備・更新を前提としたソフトウェア定義型アーキテクチャを採用し、脅威進化（自律化・スウォーム化）への継続適応を重視。	－
	【製品紹介】 The Sky Dome System	米国／Fortem Technologies	敵対ドローンの検知・識別から対処（捕獲）までを一体で提供する統合型C-UAS（Counter-UAS）システム。軍事施設、重要インフラ、空港、イベント警備などを主用途とする。	－
	【プロジェクト概要ページ】 Collaborative-UAS for Hostile Attribution, Surveillance, Emplacement, and Reconnaissance	米国／MIT Lincoln Laboratory	複数の無人航空機（UAS）が協調して行動することで、敵対的活動の特定（Attribution）と監視・偵察の高度化を図る。地上レーダーとの連携により、検知⇒対処の一貫した仕組みも検証。	－

●①×②×③：米国では、主に民間軍事企業や学術機関等により、軍事用途での検知～対処まで一貫したシステムの開発や検証、実装が進んでいる。

2-4. ドローン検知・対処技術

2-4-2-2-4. 海外の動向 国別の取組み／研究開発の担い手と役割（米国）

米国におけるドローン検知・対処技術関連の研究開発について、研究を担う中核的な組織の役割と分担構造に着目して整理し、各組織が担う研究の性格（基礎理論・評価・実証・実装支援）を明確化した。

組織区分	中核組織	主な役割	代表的な研究・プログラム例	主に生み出される研究成果
標準・評価機関	FAA	民間空域・空港環境におけるC-UAS技術の安全性・受容性確保、航空運用との両立に向けた 評価枠組み整備	UAS Detection & Mitigation Systems ARC（Aviation Rulemaking Committee）最終報告	運用・認証指針、検証プロトコル、分離運用ルール
学術研究機関	国内大学・研究機関	軍事用途を中心に、検知→識別→追跡→対処を 一貫で扱うシステムの研究	検知～対処まで一貫したシステム	同左
産業界	国内企業	AI・ソフトウェア中心の C-UAS統合システムを開発	同上	同上
調達要件策定機関	DHS / NUSTL	実運用機関（警察・重要インフラ管理者等）向けに、 C-UAS技術の評価・比較・調達指針 を策定	Guidance for Selecting and Purchasing C-UAS Equipment	試験方法、性能比較指標、導入判断基準
連邦助成機関	DHS S&T	ラボ環境・現場環境の両面で C-UAS技術を評価・成熟化 。特にDark UAS対策を重点	C-UAS Program（DHS S&T）	実証データ

2-4. ドローン検知・対処技術

2-4-2-3-1. 海外の動向 国別の取組み／戦略文書（EU）

EUにおいて、ドローン検知・対処技術に関する研究開発の方向性や設計思想を規定している主な戦略文書について整理した。国家としてドローン検知・対処技術をどのような位置づけで捉え、どのような技術的方向性を志向しているかに着目した。

文書名	主体	位置付け・主旨	研究開発の方向性（要点）
EU security union strategy	European Commission	テロ、組織犯罪、サイバー脅威、ハイブリッド脅威等に対応するため、EU域内の安全保障能力を包括的に強化する上位戦略。ドローンを含む新興技術への対処を治安・国境管理・重要インフラ防護の中核課題として位置付け。	ドローン等の民生技術の高度化・普及を前提に、違法・危険な利用を検知・特定・無力化する能力をEU全体で重視。治安機関間の情報共有、標準化、相互運用性を軸に、センサ融合、AI分析、対処手段を含むC-UAS技術の研究開発と実装を制度面と一体での推進を標榜。
A Drone Strategy 2.0 for a Smart and Sustainable Unmanned Aircraft Eco-System in Europe	European Commission	欧州におけるUASの安全・持続可能・競争力ある社会実装を目的とした包括戦略。民生・産業利用の拡大と同時に、安全確保（違法・危険ドローンへの対応）を制度・技術両面で統合的に推進する枠組みを提示。	欧州のセキュリティ・防衛力強化の文脈において、ドローンの高度化・社会実装を進める一方で、悪意ある・非協力的ドローンへの対抗能力を不可欠な基盤技術として位置付け。検知・識別・状況把握から法執行機関による対処までを支える標準化・相互運用性を備えたC-UAS技術の研究開発を重視。
Communication on countering threats posed by unlawful and dangerous use of drones that are designed for civil use	European Commission	民生ドローンの急速な普及を背景に、違法・危険なドローン利用による脅威への具体的対応を示す政策文書。Security Union Strategyを補完し、法執行・治安機関が実効的にC-UAS能力を整備・運用するための共通枠組みを提示。	正規ドローンの規制・識別制度と並行し、非協力的ドローンを対象とした検知・識別・追跡・対処技術の体系的整備を重視。RF・レーダー・EO/IR等の多層検知、AIによる状況認識、合法的対処手段の研究開発と標準化を通じ、EU域内での能力格差解消を図る。

2-4. ドローン検知・対処技術

2-4-2-3-2. 海外の動向 国別の取組み／政策・施策（EU）

EUにおけるドローン検知・対処技術に関する主な政策・施策を下表に整理した。

ここでは、研究開発の成果が戦略・標準化、運用ルール等を通じてどのように具体化してきたかに着目し、制度や運用として現れている状況に着目した。

区分	内容
① 戦略文書・ロードマップ（中長期の方向性）	・ Horizon Europe strategic plan 2025-2027 : C-UAS技術に関する直接的な言及は無いが、Cluster 3 “Civil Security for Society”関連の研究開発の目的として、テロ・犯罪・重要インフラへの脅威への対応を標榜。
② 標準化・規制スケジュール（優先度が表れる場所）	・ Impact of Security Measures on Safety (EASA) : C-UAS対策等のセキュリティ施策による、航空安全への影響を特定のうえ、安全への脅威測定手法等を提案。Task 1～3にかけて、航空安全への脅威の特定～勧告を実施。
③ 公的R&Dプログラム（投資＝将来課題の“優先投票”）	・ Horizon Europe (European Commission) : Cluster 3 “Civil Security for Society”において、C-UAS含む研究開発を支援。 ・ European Defence Fund (European Commission) : 軍事・準軍事文脈での能力向上に向け、防衛用途関連の研究開発を支援。対象には、C-UAS（迎撃・電子戦・センサ融合）関連の研究も含まれる。
④ 議会・審議・白書など	・ 欧州議会・理事会において、C-UASにおける権限分配（警察・軍・空港当局）等に関する議論を実施継続。
⑤ 調達・義務化動向	—

2-4. ドローン検知・対処技術

2-4-2-3-3. 海外の動向 対象テーマの領域における主な研究論文（EU）

①～③のテーマを代表する研究論文を下表に整理した。各論文が示す技術的貢献と、実用化に向けて指摘されている主な課題を整理することで、今後の研究開発や制度・実装との接続を検討する際の基礎情報とする。

関連技術	論文名	国／機関	概要	実用化課題
①②③	Intelligent Counter-UAV Threat Detection Using Hierarchical Fuzzy Decision-Making and Sensor Fusion	ギリシャ / University of West Attica	複数センサー（レーダー、RF、光学等）から得られる情報を統合し、階層型ファジィ推論（Hierarchical Fuzzy Inference）を用いてドローン脅威を評価するC-UAS意思決定手法を提案。センサー性能（検知距離・コスト・信頼性等）を評価し、最適なセンサー組合せを選択することで検知精度を向上。	- 実環境におけるセンサー性能ばらつきへの対応 - 多様な脅威シナリオ（群ドローン等）への適応 - リアルタイム処理性能の向上 - 異種センサー間のデータ統合標準化
	Towards Safe Mid-Air Drone Interception: Strategies for Tracking & Capture	チェコ/Czech Technical University	LiDAR + IMM推定と新航法FRPNを組み合わせ、機動的ドローンを自律的に捕獲するネット捕獲UAVを開発。従来比で応答速度を半減し、成功率100%を実現。実機試験で5m/s飛行体を安全捕獲することに成功。	- 検知・追跡の環境耐性向上 - 複数標的対応 - 射程範囲の拡大、など
	A Multi-UAV System for Detection and Elimination of Multiple Targets	チェコ/Czech Technical University	複数の自律UAVが協調して、侵入する複数ターゲットを検知・追跡し、物理的接触によって無力化する統合システムを提案。オンボード視覚センサによる検知と位置推定、状態機械に基づく探索・接近・排除制御を一体化し、針状アタッチメントによる接触破壊（接触型無力化）を採用。UAV間通信によるエリア分割と動的タスク再割当を通じ、高い信頼性と迅速な迎撃をMBZIRC 2020実環境で実証。	- 検知・追跡精度の耐環境性向上 - スウォームへの対応、など

●①×②×③：EUでは、主に学術機関等により、ドローンの検知＆対処優先度判断に加え、捕獲・迎撃による対処まで統合したシステムの開発や検証が行われている。

2-4. ドローン検知・対処技術

2-4-2-3-4. 海外の動向 国別の取組み／研究開発の担い手と役割（EU）

EUにおけるドローン検知・対処技術関連の研究開発について、研究を担う中核的な組織の役割と分担構造に着目して整理し、各組織が担う研究の性格（基礎理論・評価・実証・実装支援）を明確化した。

組織区分	中核組織	主な役割	代表的な研究・プログラム例	主に生み出される研究成果
標準・評価機関	EASA	C-UAS等のセキュリティ対策が航空安全に与える影響評価、安全脅威の特定と評価手法の提示	・Impact of Security Measures on Safety（Task 1-3）	脅威評価手法、安全影響分析フレームワーク
学術研究機関	EU域内大学・研究機関	レーダ・RF・EO/IR・音響等によるドローン検知・識別、迎撃・無力化手法の研究実証	・AIによる対処優先度判断技術 ・自律捕獲ドローン ・自律迎撃ドローン	実証データ、アルゴリズム、PoC
助成機関	European Commission	市民保護・治安分野、軍事・純軍事分野でのC-UAS研究開発を公的資金で支援（検知・識別・対処の統合）	・Horizon Europe（Cluster 3） ・EDFプログラム（C-UAS関連テーマ）	センサ融合、検知・追跡・対処技術、PoC

2-4. ドローン検知・対処技術

2-4-2-4-1. 海外の動向 国別の取組み／戦略文書（中国）

中国において、ドローン検知・対処技術に関する研究開発の方向性や設計思想を規定している主な戦略文書について整理した。国家としてドローン検知・対処技術をどのような位置づけで捉え、どのような技術的方向性を志向しているかに着目した。

文書名	主体	位置付け・主旨	研究開発の方向性（要点）
“十四五”民用航空発展規則	中国民用航空局（CAAC）	民航分野の中長期発展を示す国家計画。安全体系、空域管理、スマート民航、通用航空・無人機の発展を通じ、低空運用と新型航空産業の基盤整備を推進。中国型統合低空管理の産業・技術面の方向性を示す上位計画	スマート運航ネットワーク、空域資源のデジタル管理、低空通信・監視基盤の高度化を重視。有人機・無人機の協調運用、データ統合による統合管理プラットフォーム構築、AI・情報化技術を活用した運航最適化と安全監視能力の強化を志向。

2-4. ドローン検知・対処技術

2-4-2-4-2. 海外の動向 国別の取組み／政策・施策（中国）

中国におけるドローン検知・対処技術に関する主な政策・施策を下表に整理した。
ここでは、研究開発の成果が戦略・標準化、運用ルール等を通じてどのように具体化してきたかに着目し、
制度や運用として現れている状況に着目した。

区分	内容
① 戦略文書・ロードマップ（中長期の方向性）	• The national comprehensive three-dimensional transportation network planning：低空空域の秩序化と新型航空（無人機・低空経済）の発展を目的に、空域管理・監視・運用ルールの体系化を示す上位政策。統合低空管理の制度方向性を提示。 • 【深圳市】High-quality Construction Plan for Low-altitude Infrastructure in Shenzhen：深圳市が低空経済の拠点化を目指し、起降場や通信・監視網、低空融合システム（SILAS）、試験区・研究基盤の整備を進める計画。都市全域でドローン物流やeVTOL運航、低空監視・安全管理の実装、及び研究開発と産業集積を一体的推進を標榜。
② 標準化・規制スケジュール（優先度が表れる場所）	• GB 42590-2023_Safety requirements for civil unmanned aircraft system (SAC)：民間小型ドローンの開発・製造・運用における安全要求を定め、リモートID、ジオフェンス、緊急対応、構造強度等の基準と試験方法を規定。 • Specification for civil unmanned aircraft system operational identification (SAC)：民間無人航空機に対し、機体識別情報や位置・速度等の運用データを通信で送信・受信する「リモートID」の情報形式、通信方式、機能要求を定めた国家標準。 • Interim Regulations on the Management of Unmanned Aircraft Flight（中国国務院・中央軍事委員会）：民間無人航空機的设计・登録・操縦者資格、空域区分、飛行許可、監視・安全管理などを包括的に規定し、低空空域の秩序ある利用と安全確保、産業発展の両立を図る中国の国家レベルの行政規則。
③ 公的R&Dプログラム（投資＝将来課題の“優先投票”）	• 【深圳市】実証サイト整備：低空試験区や適航試験拠点を整備し、無人機の飛行検証、監視技術、通信・安全管控の実証を行うテスト環境を構築。 ※C-UASに直接関連する公的R&Dプログラムは確認されない。
④ 議会・審議・白書など	• “China’s national security in the new era”（State Council of the People’s Republic of China）：新時代の国家安全観を示す白書。科技・データ・低空空域など新興領域の統合的安全管理の重要性を強調。低空運航の監視・管制やリスク防止などC-UASにつながる安全統治の方向性を示す。
⑤ 調達・義務化動向	—

2-4. ドローン検知・対処技術

2-4-2-4-3. 海外の動向 対象テーマの領域における主な研究論文（中国）

①～③のテーマを代表する研究論文を下表に整理した。各論文が示す技術的貢献と、実用化に向けて指摘されている主な課題を整理することで、今後の研究開発や制度・実装との接続を検討する際の基礎情報とする。

関連技術	論文名	国／機関	概要	実用化課題
①②③	UAV Hunter: A Net-Capturing UAV System with Improved Detection and Tracking Methods for Anti-UAV Defense	中国/Rocket Force University of Engineering	ネット捕獲型対ドローンUAVシステムを開発。デュアルモード検知により可視・赤外環境で95%超の検出精度を達成し、屋外実験で3～8m距離の捕獲に成功。安全・低コストな近距離迎撃方式を実証。	- 有効射程域の拡張 - 複数目標への対処アルゴリズムの開発・実装
	High-Speed Interception Multicopter Control by Image-based Visual Servoing	中国/Beihang University	固定カメラ搭載ドローンによる高速迎撃制御を提案。画像ベース制御（IBVS）と遅延カルマンフィルタ（DKF）を統合し、実機で20m/s級の自律迎撃を実現。既存法より高精度・高応答性を達成。	- 編隊拡張に向けた群制御技術の確立（役割分担や交差迎撃制御等） - 計算処理負荷軽減に向けた、分散制御技術の確立（各機で計算処理）
	Vision-based Anti-UAV Detection and Tracking	中国/Dalian University of Technology等	可視光カメラのみを用いた対UAV検知・追跡システムの構築を目的とする。独自に収集したDUT Anti-UAVデータセット（静止画1万枚・動画20本）を用い、複数の物体検知器（YOLOX等）と追跡アルゴリズムを統合評価。さらに検知結果を動的に追跡へフィードバックする融合型パイプラインを設計し、小型・低視認ドローンに対するリアルタイム追跡性能の向上を実証した。	- 小型UAV（画面占有率0.013程度）に対する誤検知対策・精度向上 - 高速運動下等での安定追跡 - リアルタイム処理に向けた計算負荷軽減

●①×②×③：中国では、可視光AIによる検知・追跡から、高速迎撃・ネット捕獲まで一体化した対UAV研究が進展。データセット整備と融合アルゴリズム開発を軸に、実証段階から実運用志向（自律化・群制御・リアルタイム化）へ移行しつつある。

2-4. ドローン検知・対処技術

2-4-2-4-4. 海外の動向 国別の取組み／研究開発の担い手と役割（中国）

中国におけるドローン検知・対処技術関連の研究開発について、研究を担う中核的な組織の役割と分担構造に着目して整理し、各組織が担う研究の性格（基礎理論・評価・実証・実装支援）を明確化した。

組織区分	中核組織	主な役割	代表的な研究・プログラム例	主に生み出される研究成果
戦略・政策立案機関	国务院／中国民用航空局（CAAC）	低空経済・UAV産業の国家戦略位置付け、空域管理・UTM方針提示	十四五民用航空発展規劃、The national comprehensive three-dimensional transportation network planning	国家レベルの低空管理枠組、UAS Traffic Management制度設計方針
標準・評価機関	国务院・中央軍事委員会	無人機飛行管理・登録・操縦者資格制度の統合規定	Interim Regulations on the Management of Unmanned Aircraft Flight	国家統一の飛行管理制度、安全統治枠組
	SAC	UAVの安全要件、Remote ID、構造強度等の標準策定	GB 42590-2023（民間UAV安全要件） UAS Operational Identification規格	リモートID制度、ジオフェンス標準、安全試験規格
学術研究機関	国内大学・研究機関	AI検知、高速迎撃制御、ネット捕獲など対UAV技術の研究開発	UAV Hunter（ネット捕獲） Image-based高速迎撃制御 Vision-based検知・追跡研究	小型UAV検知AI、リアルタイム追跡技術、群制御基盤、近距離捕獲技術
助成機関	深圳市政府	低空試験区整備、統合監視・通信・管制実証	Shenzhen Low-altitude Infrastructure Planにおける実証環境整備構想	実証フィールド

2-4. ドローン検知・対処技術

2-4-2-5-1. 海外の動向 国別の取組み／戦略文書（英国）

英国において、ドローン検知・対処技術に関する研究開発の方向性や設計思想を規定している主な戦略文書について整理した。国家としてドローン検知・対処技術をどのような位置づけで捉え、どのような技術的方向性を志向しているかに着目した。

文書名	主体	位置付け・主旨	研究開発の方向性（要点）
Defence Command Paper 2023	英国国防省	英国防政策の中期的方向性を示す戦略文書。変動・競争が激化する安全保障環境への対応として、抑止力強化、即応性向上、統合戦力構築、技術革新の加速を柱とする。	C-UASに関する明示的記載は無いが、電子戦能力の強化、デジタル基盤の高度化、AI・自律システム・先端センサーの活用拡大など、科学技術主導による戦力変革を重視。データ統合・情報優越の確保、多領域統合作戦（Multi-Domain Integration）等の推進を通じ、将来の複雑な脅威環境に対応可能な次世代能力の獲得と迅速な実装を掲げている。

2-4. ドローン検知・対処技術

2-4-2-5-2. 海外の動向 国別の取組み／政策・施策（英国）

英国におけるドローン検知・対処技術に関する主な政策・施策を下表に整理した。

ここでは、研究開発の成果が戦略・標準化、運用ルール等を通じてどのように具体化してきたかに着目し、制度や運用として現れている状況に着目した。

区分	内容
① 戦略文書・ロードマップ（中長期の方向性）	• UK Counter-Unmanned Aircraft Strategy (Home Office) : 無人航空機（UAS）の急速な普及に伴う脅威に対応するため、検知・識別・妨害・無力化を含む統合的な対UAS能力を強化し、警察・軍・関係機関の権限整備や技術開発を推進する方針を標榜。あわせて、重要インフラや公共空間を防護するため、産業界と連携し実効的な対処体制の構築も掲げている。
② 標準化・規制スケジュール（優先度が表れる場所）	• Air Traffic Management and Unmanned Aircraft Act 2021 (CAA) : 空域の近代化とドローン規制強化を目的とする法律。空域変更手続の円滑化や航空交通管理の改善を進めるとともに、警察に無人機の停止・押収等の権限を付与し、違反行為への罰則を整備して航空の安全確保を図る。
③ 公的R&Dプログラム（投資＝将来課題の“優先投票”）	• Defence and Security Accelerator competition (Countering kinetic UAS attacks) (DASA) : 無人航空システム（UAS）による物理的攻撃から固定・移動資産を守る新たな防御技術の提案を募集。従来の飛行中ドローンを狙うC-UAS技術ではなく、資産自体を物理的に保護する手法（強化、防護、自動警報等）に焦点を当てる。静的資産と移動資産それぞれの保護を課題領域として、民間や学術機関からの革新的なアイデアを募り、最大 £750,000 の資金で複数案件を支援。 • Defence and Security Accelerator competition (Innovation in Support of Operations Phase 2 (Cycle 6)) (DASA) : 無人航空機（UAS）関連技術も含む複数の課題を対象に、UAS推進、UAS検出・追尾（シーカー）、およびUAS撃破（Defeat）といったテーマで、TRL6以上に到達可能な革新的提案を募集。採択された案件には資金援助を実施。 • Countering illegal use of UAS around prisons and sensitive sites (UKDI) : 刑務所や重要拠点周辺での違法な無人航空機（UAS）利用対策のため、最大 £1.85 million（約3億円）の競争型公募を実施。特定空域域に侵入したドローンを安全に無力化できる実用的で低副作用の技術を募集。
④ 議会・審議・白書など	—
⑤ 調達・義務化動向	• Dragon Fire調達 : 高速ドローンの迎撃に成功した実証試験を受けて、国防省は £316 million（約4,130億円）の契約を防衛企業 MBDA UK に付与し、2027年から同システムを 英海軍のType 45駆逐艦 に納入する計画を進めている。

2-4. ドローン検知・対処技術

2-4-2-5-3. 海外の動向 対象テーマの領域における主な研究論文（英国）

英国では一般公開されている①～③のテーマに係る論文が限定的であることから、民間企業等によるニュースリリース等から研究開発動向を探索した。下表に示す通り、英国では一部でドローン検知～対処まで一貫したシステムや都市環境でのドローン検知システムの開発等が進められている。

関連技術	論文名	国／機関	概要	実用化課題
①②③	Fully digital, urban networked staring radar: Simulation and experimentation	英国 / University of Birmingham等	都市環境での小型無人航空機（S-UAS）を検知・追跡するための Lバンド・ネットワーク型 “staring”レーダシステムのシミュレーションと実機評価を提示。完全デジタル方式により高いアーバン雑音耐性と小目標の検出性能を狙う。同期誤差の影響を解析し、送信直接波受信信号を基にしたデータ同期法（direct signal synchronization）をレーダネットワークで実装。シミュレーションと現地実験で S-UAS 検出と高い SNR・位置精度を確認。	- 都市内での高雑音環境における小 UAV エコー検出の信頼性向上 - レーダネットワーク同期精度の課題（時刻同期誤差低減技術） - 多点ネットワーク処理のデータ量・処理遅延最適化 - 実環境での clutter（建物散乱）に対する誤検知低減
	【製品紹介ページ】 Counter-Drone Systems	英国／QinetiQ	RFスペクトラム監視によりドローンの存在検知・識別・位置特定を実施し、指揮統制（C2）下で脅威評価を行う。必要に応じて電磁的対処（ジャミング、コマンドリンク妨害、GNSS妨害等）やネットによる捕獲等を実施し、検知～追跡～無力化までを一体運用。軍事基地・展開部隊・重要施設を主用途とし、ネットワーク化・拡張性を重視したアーキテクチャを採用。	—

●①×②×③：英国では、都市環境向けネットワーク型レーダーの高精度検知研究が進む一方、QinetiQ等がRF監視と電磁妨害を組み合わせた統合型C-UASを開発し、検知から無力化までの一体運用を志向している。

2-4. ドローン検知・対処技術

2-4-2-5-4. 海外の動向 国別の取組み／研究開発の担い手と役割（英国）

英国におけるドローン検知・対処技術関連の研究開発について、研究を担う中核的な組織の役割と分担構造に着目して整理し、各組織が担う研究の性格（基礎理論・評価・実証・実装支援）を明確化した。

組織区分	中核組織	主な役割	代表的な研究・プログラム例	主に生み出される研究成果
戦略・政策立案機関	英国国防省（MoD）	多領域統合戦（MDO）を前提とした無人機脅威対応能力の強化	Defence Command Paper 2023	電子戦・AI活用能力の強化方針、次世代戦力構想
	英国内務省（Home Office）	国内重要インフラ・公共空間を対象とした対UAS戦略の策定	UK Counter-Unmanned Aircraft Strategy	国家レベルのC-UAS戦略方針、関係機関連携枠組
標準・評価機関	民間航空局（CAA）	空域管理・無人航空機規制・法制度整備	Air Traffic Management and Unmanned Aircraft Act 2021	飛行管理制度、警察権限強化、違反罰則整備
学術研究機関	国内大学・研究機関	都市環境向け検知アルゴリズム、ネットワーク型レーダ研究	同左	高SNR検知技術、分散型センサ融合
産業界	民間企業	統合型C-UASシステムの開発・装備化	Counter-Drone Systems	RF監視＋妨害統合システム
助成機関	DASA	革新的C-UAS技術の公募・資金支援	Countering Kinetic UAS AttacksInnovation in Support of Operations (Phase 2)	高TRL対UAS技術、実証プロジェクト成果
	UKDI	重要施設周辺の違法UAS対策支援	Countering illegal use of UAS around prisons	実用型妨害・無力化技術の実証
調達機関	英国国防省（MoD）	実証成果の装備化・艦艇配備	Dragon Fire調達	実戦配備型高出力レーザーC-UAS

2-4. ドローン検知・対処技術

2-4-2-6-1. 海外の動向 国別の取組み／戦略文書（日本）

日本において、ドローン検知・対処技術に関する研究開発の方向性や設計思想を規定している主な戦略文書について整理した。国家としてドローン検知・対処技術をどのような位置づけで捉え、どのような技術的方向性を志向しているかに着目した。

文書名	主体	位置付け・主旨	研究開発の方向性（要点）
国家安全保障戦略	内閣官房	日本の安全保障政策の最上位戦略文書。外交・防衛・経済安全保障・技術基盤を統合的に示す。抑止力強化、防衛力の抜本的強化、め、C-UAS分野の研究開発推進に向けた戦略的根拠となり得る。経済安全保障推進を柱とする。	C-UASに関する記載は無いが、「無人アセット・自律システム活用」の推進、「サイバー・電磁波領域能力の強化」等を標榜している

2-4. ドローン検知・対処技術

2-4-2-6-2. 海外の動向 国別の取組み／政策・施策（日本）

日本におけるドローン検知・対処技術に関する主な政策・施策を下表に整理した。

ここでは、研究開発の成果が戦略・標準化、運用ルール等を通じてどのように具体化してきたかに着目し、制度や運用として現れている状況に着目した。

区分	内容
① 戦略文書・ロードマップ（中長期の方向性）	・ 防衛力整備計画（防衛省）：無人アセットやUAVを含む空中・海上・陸上の無人機能を防衛力として強化するとともに、小型無人機（UAV）等への対処能力を高出力レーザーや高出力マイクロ波などの電磁波領域技術により早期に整備する方針を示している。
② 標準化・規制スケジュール（優先度が表れる場所）	・ 航空法に基づく無人航空機飛行のための手続き（国交省）：無人航空機を屋外で飛行させる際の機体登録と登録記号の表示、リモートID機能の備付けを規定。飛行カテゴリー（Ⅰ～Ⅲ）に応じて、飛行許可・承認申請や操縦者技能証明、機体認証の取得を求めている。また、特定飛行を行う場合の事前に飛行計画の提出等も義務付け。 ・ 小型無人機等飛行禁止法：国会議事堂・首相官邸・最高裁・皇居・原子力事業所・防衛・外国公館など重要施設及びその周囲約300 m（イエローゾーン）上空でのドローン等飛行を原則禁止。
③ 公的R&Dプログラム（投資＝将来課題の“優先投票”）	・ 新世代装備研究所（防衛装備庁）：レーダ及び光波などの電磁波領域に関する防衛エレクトロニクス部門並びに宇宙領域に関する技術の研究を実施。C-UAS分野では、対ドローン向け高出力レーザー開発等を実施。 ・ ドローン・スウォーム攻撃等対処能力の実証（防衛省）：ドローン・スウォーム等に対処可能なHPMについて、実環境下での検証を実施。
④ 議会・審議・白書など	・ 違法なドローン飛行対策に関する検討会（警察庁）：ドローンの性能向上と普及により重要施設等への危険な飛行リスクが増大していることを踏まえ、「小型無人機等飛行禁止法」の対象空域の拡大（約1000m）や飛行禁止規定の厳罰化、対象施設追加など規制強化の方向性について検討。
⑤ 調達・義務化動向	・ 無人アセットの調達（防衛省）：ドローン等の無人アセットによる多層的沿岸防衛体制【SHIELD】の構築に向けた、防衛用UAV取得等を標榜。

2-4. ドローン検知・対処技術

2-4-2-6-3. 海外の動向 対象テーマの領域における主な研究論文（日本）

日本では一般公開されている①～③のテーマに係る論文が限定的であることから、民間企業等によるニュースリリース等から研究開発動向を探索した。下表に示す通り、日本では一部でドローン検知～対処まで一貫したシステムや捕獲ドローンシステムの開発等が進められている。

関連技術	論文名	国／機関	概要	実用化課題
①②③	【プレスリリース】 捕獲用ドローン「HORNET」の開発	日本/白銀技研	原子力発電所上空での不審飛行事案を受け、大型のドローン捕獲用セキュリティドローン「HORNET」を開発。折りたたみ式ネットを搭載し、高速で対象ドローンを追跡してネットで捕獲・閉じ込め、安全に回収する機構を構築。重要施設防護への適用を想定した対ドローン技術を開発した。	－
	【製品ウェブページ】 対ドローンセキュリティシステム	日本/東芝	東芝は、不審ドローンに対して検出・追尾・識別・対処までを一貫して行う統合ソリューションを提供。長距離・短中距離レーダやRFセンサで空域内のドローンを早期に探知し、自律型捕獲ドローンや可搬型システムで対象を追尾・捕獲・制圧する機能を含み、多様な現場（防衛施設・空港・発電所など）で運用できる構成となっている。	－

●①×②×③：日本では、原発等の重要施設防護を想定した捕獲型ドローンや、レーダー・RF・光学センサを組み合わせ検知から対処まで一貫対応する統合型対ドローンシステムの開発が進む。

2-4. ドローン検知・対処技術

2-4-2-6-4. 海外の動向 国別の取組み／研究開発の担い手と役割（日本）

日本におけるドローン検知・対処技術関連の研究開発について、研究を担う中核的な組織の役割と分担構造に着目して整理し、各組織が担う研究の性格（基礎理論・評価・実証・実装支援）を明確化した。

組織区分	中核組織	主な役割	代表的な研究・プログラム例	主に生み出される研究成果
戦略・政策立案機関	内閣官房	国家安全保障の上位戦略において無人アセット・電磁波領域強化を位置付け	国家安全保障戦略	無人アセット活用方針、電磁波領域強化の方向性
	防衛省	無人アセットおよび対UAV能力の整備方針策定	防衛力整備計画	高出力レーザー・HPM等の早期整備方針
標準・評価機関	国土交通省	無人航空機の飛行制度・登録・Remote ID義務化	航空法に基づく無人航空機飛行制度	飛行許可制度、機体登録制度、Remote ID制度
	警察庁	重要施設周辺の飛行規制・違法対策	小型無人機等飛行禁止法	重要施設周辺の飛行禁止制度、取締権限
学術研究機関	国内大学・研究機関	センサ融合・画像認識・電磁波解析等の基盤技術研究	画像認識・レーダ信号処理研究等	小型UAV検知アルゴリズム、センサ融合技術
産業界	民間企業	検知～追尾～捕獲までの統合型対ドローンシステム開発	対ドローンセキュリティシステム、捕獲用ドローン	レーダ＋RF＋光学統合監視、ネット捕獲型対処技術
助成機関	防衛装備庁（新世代装備研究所）	レーザー・電磁波等による対ドローン技術研究	高出力レーザー研究、電磁波妨害技術研究	指向性エネルギー技術、対スウォーム対処技術
	防衛省	ドローン・スウォーム攻撃対処能力の実証	HPM実証試験	実環境下での迎撃能力評価
調達機関	防衛省	無人アセット・対UAV能力の取得・装備化	無人アセット調達（SHIELD構想等）	多層的沿岸防衛体制への統合

2. 各技術領域における検討

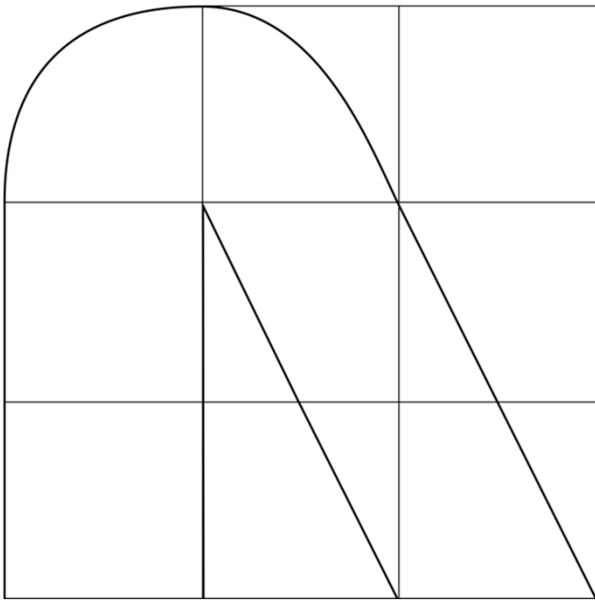
2-1. 災害・医療用ロボット技術

2-2. 大規模電源技術（蓄電・発電）

2-3. 本人確認・認証システム

2-4. ドローン検知・対処技術

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）



2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）

2-5-1-1. ユースケースの整理

高エネルギー物質技術に関する将来技術を活用したユースケースについて、下表の通り整理した。

技術類型	ユースケース	説明
合成設計	新規エネルギー物質候補創出	低感度化等の目標を満たす材料案をデータ駆動で絞り込み、合成や製造方法を確立する
	代替添加剤・前駆体のスクリーニング	安全・規制等制約の内で代替候補を探索し、実験前に優先順位を付ける
解析	爆轟・爆風×構造の耐爆設計	爆轟→爆風→構造損傷を一気通貫で評価し、耐爆・軽量化の設計を前倒しで最適化
	高速現象の精密測定	高速で生じる爆轟現象を把握し、材料データ・シミュレーション検証データを取得する
	爆轟生成ガスの状態方程式の構築	高エネルギー物質が持つ爆轟特性の数理的な評価方式を確立する
	量子化学計算手法の確立	爆発エネルギーや衝撃感度といったマルチスケールシミュレーションを構築する
品質評価・適合/認証	仮想適合審査（試験短縮）	規格適合を仮想試験で事前確認し、実物試験の回数と範囲を合理化する
製造	生産ラインの連続フロー化	危険工程の小容量化・連続化の適用可否を、品質・安全の観点で高レベル設計
	ロットばらつきの原因推定・是正	ロット差の要因をモデルで可視化し、設計・工程の是正案を提示
運用	長期貯蔵の健全度監視（在庫PHM）	在庫・輸送中の状態を継続監視し、劣化兆候を早期検知・予防保全に接続
	事故・逸脱の早期検知と運用判断	運用中の異常兆候を定量化し、安全側の自動判断規則に反映
データ管理・標準化	企業・同盟横断の秘匿共同学習	データを移さずに感度・安定性モデルを共同で高精度化し、相互運用を確保
	日本独自のデータベースの構築	新規エネルギー物質の設計に使用するための独自データベースを国内で確保する

出典：産業技術総合研究所作成資料より

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）

2-5-1-2. ユースケースを含めた技術の整理（1/2）

国内で研究されている高エネルギー物質技術領域における将来技術を整理した（太字がユースケースの要素技術）。

技術類型	技術キーワード	説明
素材	エネルギー性MOF/COF/ECP	多孔・配位骨格にエネルギー機能を付与し、高エネと低感度の両立を探る新材料概念
	エネルギー性イオン液体/塩類	低揮発・低毒性の塩系で安全性と環境適合を高める、推進剤・爆薬向け設計アプローチ
	PFASフリーのバインダー/可塑剤群の体系探索	PFAS非使用の添加剤を体系評価し、性能維持と規制適合の両立を図る代替設計
合成設計	マテリアルズインフォマティクス	材料・結晶・プロセスのデータを用い、性能と安全を同時最適化する設計手法
	不確かさ定量付予測	予測に信頼区間を付し、リスクを見積もりつつ意思決定を支援する手法
	ケモインフォマティクス	分子構造の記述子やグラフで物性・安全性を予測し、候補分子を絞り込む技術
	生成AI・逆設計	所望特性から逆算して候補分子・材料を自動提案する生成モデル活用法
	完全ガス化するエネルギー物質合成	すす等の残渣が少ないクリーンなエネルギー物質の創成
	酵素等を用いるエネルギー物質合成	環境に配慮した合成法の確立
	共結晶設計	相補的分子の結晶化で感度低減と性能維持を狙う、高エネ物質特有の設計
解析	合成可能性制約付き・逆設計	合成・安全制約を学習に内在化し、実行不能案を初期段階で除外
	爆轟シミュレーション解析	化学反応を考慮したシミュレーションコードの構築
	爆風シミュレーション解析	爆発影響評価の要となる爆風シミュレーターの開発
	反応流・爆轟・爆風・構造の弱連成CAE	反応→爆轟→爆風→構造損傷を一気通貫で連成解析し、試験を補完する
	爆発エネルギーの精密測定（材料の衝撃圧縮特性評価含む）	核種材料の衝撃特性の把握
	爆発中の物理量の多点計測技術の開発	爆発中の状態量の直接測定

出典：産業技術総合研究所作成資料より

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）

2-5-1-2. ユースケースを含めた技術の整理（2/2）

（続き）

技術類型	技術キーワード	説明
製造	連続フロー/マイクロプロセス概念	危険工程を小容量・連続化し、熱管理と品質一貫性を高める製造設計思想
	PAT（プロセスアナリティクス）指標体系	オンライン計測で工程状態を可視化し、異常兆候を早期検知するための指標枠組み
	結晶成長のデジタル制御概念	核生成・成長の観測指標で結晶相・粒度を制御し、感度と安定性の最適化を図る
品質評価・ 適合/認証	重要原料の代替・多角化評価	ボトルネック原料の代替候補と調達経路を比較し、供給リスクを定量管理
	コンプライアンス・バイ・デザイン	輸出管理やFDI審査要件を設計段階から組み込み、審査容易性と監査耐性を高める
運用	埋め込みセンシング（FBG/MEMS）	構造内部にセンサーを組み込み、温度・ひずみ等から劣化兆候を非破壊で継続監視
	PHM（劣化予測）	運用データから健全度・残存寿命を推定し、保全計画を最適化する予兆保全手法
	セーフティマージン解析	誘爆・共鳴など過酷事象に対する設計余裕を定量化し、許容範囲を明確化する
データ管理・ 標準化	材料データ空間	FAIR原則と共通語彙でデータを統合・共有し、再利用性と相互運用性を高める基盤
	フェデレーテッド学習	生データを移さず分散協調学習し、秘匿性を保ったままモデル精度を向上させる仕組み
	機密計算/準同型暗号ML	暗号下や安全実行環境で計算し、機微データを開示せず学習・推論を可能にする技術
	V&V/UUQ標準パッケージ	モデルの検証・妥当化と不確かさ定量を標準化し、結果の信頼性を担保
	マルチフィディティ学習	高低異なる忠実度の実験・計算データを統合し、少量データで精度を高める学習法
	デジタルツイン（運用連携）	実測データを同化する仮想モデルで状態を追跡し、運用・保全判断を支援

出典：産業技術総合研究所作成資料より

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）

2-5-1-3. 技術類型の評価

高エネルギー物質に関する技術類型を優先度と影響度の2軸で評価し、研究開発における優先順位の高い技術類型の絞り込みを行った。

技術類型		優先度	影響度	評価コメント
設計	素材	中	高	- 規制圧・供給主権に直結 - IM達成と環境適合の両輪で波及大
	合成設計	高	高	- 試験縮減と探索効率のレバー - データ管理・標準化整備で効果が通増
	解析	高	高	- 大型試験縮減・軽量化に直結 - 設計説明責任の中核
製造	製造	中	高	- 対象化学適用の研究が安全・設備総合効率の改善に即効 - 技術課題よりも許認可や事業採算性がボトルネック
	品質評価	高	中	- 標準化と連動で社会受容・輸出入に効く - 解析技術との組み合わせにより効果が高まる
	適合/認証	中	高	- 相互承認・試験縮減のゲート - 制度面のR&Dが投資効率大
運用	運用	中	中	- 被害半径・事故頻度の低減に寄与 - 制度・物流との連携が前提
破棄	破棄	中	中	- 規制リスクと備蓄更新に直結 - 社会受容/環境面の効果が大きい
データ管理・標準化		高	高	- 設計・解析・製造の横串で試験縮減と受容性を決めるボトルネック - 国内分散データを安全に統合し、供給主権と競争力を底上げ。短期から全領域に波及

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）

2-5-1-4. 優先度・影響度評価の定義

優先度

区分	定義	主な判断基準
高（High）	3年内実装可で供給・規制の痛点を直撃	- 国内自立と相互承認に直結 - 規制適合の期限圧が高い - PoC→現場移行の前提が揃う
中（Medium）	効果は大だが前提整備が要る中期案件	- 供給・標準整合の準備が必要 - 代替手段はあるが劣後
低（Low）	緊急度小で長期探索・代替で当面可	- 規制/供給の痛点との紐づきが弱い - 実装5年以上か不確実 - 短期は他手段で代替可

影響度

区分	定義	主な判断基準
高（High）	安全・任務・産業へ広範で大きな効果	- 被害半径/事故リスクの大幅低減が可能 - 軽量化・稼働率向上が横断的 - LCA/代替の社会便益が大きい
中（Medium）	影響は明確だが適用範囲が限定的	- 対象ライン/用途が限られる - 効果は中規模 - 技術波及効果は一部に留まる
低（Low）	影響は限定、補助的か間接的效果中心	- 性能/安全の寄与が小さい - 既存運用の最適化に留まる - 技術波及効果は限定的

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）

2-5-1-5. ユースケースの策定

優先度と影響度どちらも高いと評価した技術類型における主要な技術キーワードや課題から、以下の3つのユースケースをテーマとして調査した。

技術類型	主要な技術キーワード	課題・背景	テーマ
合成設計	✓ 完全ガス化するエネルギー物質の合成 ✓ 酵素等を用いた新規合成法 ✓ 新規共結晶物質の合成 ✓ 発破用新規エネルギー物質の創製	✓ 特定国依存を回避するために代替原料を用いて既存の高エネルギー物質と同等性能を持つ合成設計が求められる ✓ 合成や運用において環境負荷の少ない高エネルギー物質が求められている	①新規エネルギー物質の創製技術の確立
解析	✓ 爆轟シミュレーション解析 ✓ 爆風シミュレーション解析 ✓ 構造解析 ✓ 反応流・爆轟・爆風・構造の弱連成CAE	✓ 米国を中心にシミュレーションコードの内製化が進んでおり、自国内の解析技術を確保しなければ研究自体ストップする可能性がある	②コンピュータを用いた一気通貫型解析技術の確立
データ管理・標準化	✓ 熱的安定性データの収集 ✓ 燃焼熱量データの収集 ✓ 結晶構造解析およびスペクトルデータベースの確立	✓ データ管理・標準化に向けた共通フォーマットやサンプリング標準等の統一が必要 ✓ 国内の実験施設が少なくデータ取得が進まない	③日本独自の高エネルギー物質データ管理・標準化手法の確立

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）

2-5-2-2-1. 海外の動向 国別の取組み／戦略文書（米国）

米国において、高エネルギー物質技術に関する研究開発の方向性や設計思想を規定している主な戦略文書について整理した。国家として高エネルギー物質技術をどのような位置づけで捉え、どのような技術的方向性を志向しているかに着目した。

文書名	主体	位置付け・主旨	研究開発の方向性（要点）
NDIS Implementation Plan (2024)	DoD (Department of Defense)	NDISを実装プログラムに落とす文書。投資メニューや実行主体、今後数年の施策を具体化	5年スパンでの産業基盤投資・施策パッケージ化（→火薬系は、重要原料/中間体・設備・安全操業まで含めた実装が前提になり、研究も「量産・供給・安全」へ寄る）
National Defense Industrial Strategy (2024)	DoD (Department of Defense)	初の国防産業戦略。防衛産業エコシステムを“抑止の一部”として位置づけ、優先投資の方向を提示	ボトルネック工程・重要サプライヤ・重要原材料のレジリエンス/多角化、生産能力拡大、調達・契約の柔軟化、人材確保を重視（→火薬・推進薬は「作れて供給できる」こと自体が技術要件になる）
National Defense Science & Technology Strategy (2023)	DoD (Department of Defense)	S&Tの国家防衛上の優先を示す上位指針。重要技術領域・投資の筋を与える	先端材料・デジタル/モデルベース・AI等を軸に、実験だけに依存しない設計・評価、迅速化を志向（高エネルギー物質では、材料設計のデータ駆動化、モデル妥当性・不確かさ管理、試験代替の発想と親和）
National Defense Strategy (2022)	DoD (Department of Defense)	国防の最上位戦略。抑止・戦い方・必要能力を定義し、国防エコシステム（産業基盤含む）を重視	需要急増・消耗戦にも耐える弾薬/装備の供給力・即応力、技術優位を支える研究開発と“実装速度”を重視（→火薬分野では、性能だけでなく供給・量産・安全の設計思想が強くなる）

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）

2-5-2-2-2. 海外の動向 国別の取組み／政策・施策（米国）

米国における高エネルギー物質技術に関する主な政策・施策を下表に整理した。
ここでは、研究開発の成果が**標準化、調達要件、運用ルール等**を通じてどのように**具体化してきたか**に着目し、
制度や運用として現れている状況に着目した。

区分	内容
①戦略文書・ロードマップ（中長期の方向性）	• National Defense Industrial Strategy (NDIS) / Implementation Plan：供給網強靱化・人材・調達柔軟化などを期優先に据え、弾薬・爆薬を含む産業基盤の再建を方向付け • National Defense Science & Technology Strategy：先端材料・デジタル/モデルベース・AI等を軸に、実験だけに依存しない設計・評価、迅速化を志向
②標準化・規制スケジュール（優先度が表れる場所として）	• MIL-STD-2105（最新版2105E）：Insensitive Munitions (IM) のHazard Assessment（評価枠）を規定する中核標準。設計要求や試験・評価の共通言語として機能 • DoDI 5000.61：取得・試験評価に使うモデル/シミュレーションの信頼性確保（V&V/認定）を制度面から支え、受容可能な仮想試験の土台になる • DoD Explosives Safety Regulation (DESR 6055.09) + DoDI 6055.16：貯蔵・取扱・施設・運用を含む爆薬安全（ES）をDoD横断で規定し、製造・保管・運用のルールに直結
③公的R&Dプログラム（投資＝将来課題の優先投票）	• Joint Insensitive Munitions Technology Program (JIMTP)：IM関連の技術成熟を支援する代表的枠組み（低感度化・安全性向上の技術群 • Navy ManTech：エネルギー物質・推進薬等の製造技術（スケールアップ/品質/安全）を公的に後押し • SERDP/ESTCP：IMや環境・安全に関わる評価・代替技術など、運用と制度実装に近いテーマを支援 • HPCMP：高忠実度シミュレーション基盤（大規模計算）を整備し、一気通貫解析の能力底上げに寄与
④議会・審議・白書など	• CRS（議会調査局）レポート：政府所有・民間運営の弾薬プラントが推進薬・爆薬の中核である等、供給制約を政策論点化 • Army Science Board報告：energetics生産や特定素材の単一障害点などを示し、研究開発だけでなく調達の形の必要性を提起 • GAO（会計検査院）報告：爆薬製造基盤や供給網のリスクを監査し、是正アクションを要求（制度・投資の根拠になりやすい） • NDAA関連（CRS整理）：産業基盤・調達・投資スキームの更新点を継続的に反映
⑤調達・義務化動向	• 10 U.S.C. §2389：一定の弾薬についてDoDに安全性確保を求める法的枠組みとして参照され、要求化の根拠になる • 軍関連のIM方針（例：OPNAVINST 8010.13E）：取得プロセスにIM配慮を組み込み、要求・試験・設計判断へ落とす • 特定ボトルネック工程への契約・補助：重要エネルギー物質の工程確立等を契約で後押しし、研究成果を供給能力に変換 • マルチイヤー調達（MYP）等の活用議論：需要の振れを抑え、設備投資を誘発する政策手段として議論・提言が進む

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）

2-5-2-2-3. 海外の動向 対象テーマの領域における主な研究論文（米国）

①～③の各テーマを代表する研究論文を下表に整理した。各論文が示す技術的貢献と、実用化に向けて指摘されている主な課題を整理することで、今後の研究開発や制度・実装との接続を検討する際の基礎情報とする。

関連技術	論文名	国／機関	概要	実用化課題
①新規高エネルギー物質の創製技術の確立	A Deep Learning Approach to Searching the Property Spaces of Materials: Constraining to Small and Synthetic-Accessible Spaces	米国／Purdue University 他（査読前論文）	分子グラフのみをインプットとして物性を同時に予測するマルチタスク・グラフニューラルネットワークモデルを開発。合成可能性を意識した探索空間に制約し、候補探索を現実の合成へ接続しやすくする	「合成可能」制約の定式化の妥当性 - 実際の工程制約（収率・危険性）への拡張 - 高次元（$n>2$）の物性空間における最適化
②コンピュータを用いた一気通貫型解析技術の確立	Sierra/SolidMechanics 5.24	米国／Sandia National Laboratories	衝撃物理（爆轟/爆風）と構造力学を連成し、近接爆発・破片などの統合解析を志向	- 連成の検証用ベンチマーク整備 - 誤差・不確かさの扱い（UUQ）と運用受容の枠組み
	Modeling the formation of Sedan Crater using the FLAG and HOSS codes	米国／Los Alamos National Laboratory	地下核実験「セダン」を対象に、連続体流体コード（FLAG）有限離散要素法（HOSS）一気通貫のアプローチを検証。極限エネルギー下での材料挙動を包括的に理解し、耐爆設計の最適化に資する計算基盤を提示	- HOSS解析には千基以上のプロセッサと時間の計算が必要 - 検証用データが極めて稀少 - 不均質で層状の岩盤を正確に記述するための高精度な状態方程式（EOS）の実装
③日本独自の高エネルギー物質データ管理・標準化手法の確立	Machine Learning Models for High Explosive Crystal Density and Performance	米国／Los Alamos National Laboratory	21,000種類の合成済み高エネルギー分子データベースを構築。新たな記述子「MolDensity」と手性の指定を組み込んだSMILES記法を用い、結晶密度、爆速、爆圧の予測精度を従来モデルより20%向上させた	100万件を超える仮想化合物群から最高性能の物質をスクリーニングする際の、計算コストと予測精度のトレードオフ - 実験データのばらつきを許容できる堅牢なモデルの維持

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）

2-5-2-2-4. 海外の動向 国別の取組み／研究開発の担い手と役割（米国）

米国における高エネルギー物質技術関連の研究開発について、研究を担う中核的な組織の役割と分担構造に着目して整理し、各組織が担う研究の性格（基礎理論・評価・実証・実装支援）を明確化した。

組織区分	中核組織	主な役割	代表的な研究・プログラム例	主に生み出される研究成果
基礎理論	Los Alamos National Laboratory (LANL)	爆轟・衝撃の基礎物理と高エネ材料の基盤データ/モデルを整備し、予測計算の根拠を供給	爆轟物理・衝撃圧縮下の物性/反応計測、モデル化	反応モデル、EOS/物性データ、基盤コード要素、ベンチマークデータ
基礎理論	Sandia National Laboratories	衝撃・爆轟の実験/診断基盤と、起爆・爆轟現象の理解深化による モデル高度化 （検証の土台づくり）	衝撃環境試験・爆轟現象研究（例：多層爆薬の起爆/爆轟挙動）	高速度計測データ、材料応答モデル、検証用データセット
基礎理論～実証	DEVCOM Army Research Laboratory (ARL)	陸軍ニーズに直結する「爆轟/爆風/材料」×「計算・計測」の橋渡し	計算科学・材料/致死性領域の研究体制（外部評価報告で研究領域が整理）	要素モデル、軍用条件の試験/解析知見、設計・評価に使える予測手法
標準・評価	DoD Explosives Safety Board (DDESB) / DESR 6055.09	爆薬安全の政策・責任分掌、爆薬安全基準の整備、施設計画（Q/D等）や承認の枠組みで守るべき線を設定	DoDD 6055.09EでDDESBの設置・責務、DESR 6055.09（最新版はDDESで公開）	安全基準、保護構造/配置の要件、審査・承認プロセス、評価の共通言語
実証・評価	Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL)	非核爆薬の合成・定式化・評価。世界最速級スパコンを用いた極限状態の多スケール解析	AMS（自律的多スケールシミュレーション）、Cheetah（爆轟計算コード）の開発	爆薬の反応速度モデル、高精度爆轟方程式、次世代不感性感爆薬の設計指針
実証・実装支援	DEVCOM Armaments Center (Picatinny Arsenal)	弾薬・爆薬・推進薬・弾頭の設計統合～試作～移転。IM化や材料/弾頭技術を装備の形に落とし込む	“Energetics, Warheads & Materials”等の技術領域で研究・工学・プロトタイプング	試作品、統合設計（仕様/図面/製造条件）、技術移転パッケージ、適用ガイド
実証・実装支援	Air Force Research Laboratory (AFRL) Munitions Directorate	空軍の通常弾薬に関するR&D司令塔。コンセプト配合からパイロット生産（HERD施設）まで実施	科学技術部門が信管・弾頭・高エネ材料等をR&Dを実施し、パイロット生産を行う支部も存在	空中投下弾薬向け材料技術、試作配合・スケールアップ知見、評価用データ
実証・実装支援	Naval Surface Warfare Center, Indian Head Division	海軍のエナジェティクス（推進・爆薬等）のRDT&Eと製造技術・安全を含む移転支援	Energetics Manufacturing Technology Centerによる製造技術支援	製造プロセス条件・安全設計、スケールアップ、品質安定化ノウハウ

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）

2-5-2-3-1. 海外の動向 国別の取組み／戦略文書（EU）

EUにおいて、高エネルギー物質技術に関する研究開発の方向性や設計思想を規定している主な戦略文書について整理した。国家として高エネルギー物質技術をどのような位置づけで捉え、どのような技術的方向性を志向しているかに着目した。

文書名	主体	位置付け・主旨	研究開発の方向性（要点）
White Paper for European Defence – Readiness 2030	EC（欧州委員会）	防衛即応（Readiness）を産業・調達・投資まで一体で引き上げる上位方針	需要側（共同調達・備蓄）と供給側（生産能力・ボトルネック解消）を接続。弾薬・重要投入材の不足を前提に、 増産・代替・分散/冗長化 を促す
European Defence Industrial Strategy (EDIS, 2024)	European Parliamentary Research Service	欧州防衛産業基盤（EDTIB）の競争力と供給保証を“戦略（Industrial Strategy）”として明示	弾薬を含む防衛生産の立ち上げを、研究開発・投資・サプライ網強化・標準/要件へ繋ぐ設計思想。「欧州内供給」「共同調達」「相互運用」を軸に研究の優先順位を付けやすい
European Defence Industry Programme (EDIP) 規則（2025）	欧州議会・欧州連合理事会	ASAP後の“次段”として、 防衛産業の生産能力・供給保証・共同調達の制度化 を進める枠組み	弾薬・重要部材の供給能力強化を、資金・協力枠組み・運用ルールに落とす。R&Dは「生産へ到達する研究（manufacturable）」を求められやすい
Act in Support of Ammunition Production（ASAP）規則（2023）	EC（欧州委員会）	弾薬増産を“短期で実現”するための臨時強力パッケージ	爆薬・推進薬などのボトルネック工程/設備を増強し、 プロセス安全・品質一貫・スケールアップ を最優先に。研究も「生産制約を外す」テーマに寄り
Roadmap on Critical Technologies for Security and Defence（2022）	EC（欧州委員会）	重要技術の特定→投資誘導→域内供給 を狙う横断ロードマップ	“重要技術”として、材料・製造・デジタル/モデリング等の基盤技術を束ねて扱う。高エネルギー物質は単体領域というより、材料×製造×評価（V&V含む）の組として優先付けされやすい

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）

2-5-2-3-2. 海外の動向 国別の取組み／政策・施策（EU）

EUにおける高エネルギー物質技術に関する主な政策・施策を下表に整理した。
ここでは、研究開発の成果が標準化、調達要件、運用ルール等を通じてどのように具体化してきたかに着目し、制度や運用として現れている状況に着目した。

区分	内容
①戦略文書・ロードマップ（中長期の方向性）	- EDIS（欧州防衛産業戦略）：防衛産業基盤の即応性・レジリエンス、弾薬等の供給力強化を中核に据える - EDIP（欧州防衛産業プログラム）：供給確保・産業能力・共同調達を制度パッケージ化 - EU防衛即応ホワイトペーパー（Readiness 2030）：装備・産業・投資の再設計を提示
②標準化・規制スケジュール（優先度が表れる場所として）	- IM（低感度弾薬）標準の“事実上の軸”＝NATO STANAG 4439等：IMの評価・試験・要求の共通枠が各国調達要件に流入しやすく、設計効率化に強く作用 - EDA EDSTAR：欧州域で参照される防衛標準のカatalog/参照枠。エネルギー物質の試験手順なども含み得て、新規エネルギー物質の創製・解析・標準化の“受け皿（共通言語）”になる - 化学規制（REACH/CLP）：物質の登録・制限/分類・表示が材料選定に直結し、PFAS代替など工程・材料の安全/環境適合を強くドライブ - Seveso III（重大事故防止）：危険物質を扱う施設の重大事故防止・管理を規定し、生産工程安全の制度的下限を形成 - 爆発物前駆体規制（2019/1148）：前駆体の流通管理・通報等でサプライ側運用が規定され、供給網・工程設計にも影響 - PFAS規制提案（ECHA）：規制化の方向性が材料置換（PFASフリー・バインダー等）を加速し得る
③公的R&Dプログラム（投資＝将来課題の優先投票）	European Defence Fund（EDF）：EUの防衛R&D資金の中核。材料・デジタル設計/解析・製造技術など、新規エネルギー物質の創製・解析・標準化に横断的に投資が可能な器である
④議会・審議・白書など	- EDIS/EDIPに対する諮問・評価（EESC/欧州議会の手続・報告）：域内調達比率や産業能力、供給確保の論点が精緻化され、新規エネルギー物質の創製と標準化を“政策KPI化”しやすい - Readiness 2030白書：防衛即応と産業・投資の結節点を示し、弾薬・産業能力の優先順位付けを後押し
⑤調達・義務化動向	- ASAP（弾薬生産支援）：弾薬（砲弾・ミサイル等）の製造能力増強を直接支援 - EDIRPA（共同調達支援）：共同調達を財政インセンティブで促進し、標準化・相互運用と供給基盤をまとめて押す - 防衛調達指令（2009/81/EC）：域内調達の制度枠で、要件（標準・試験・安全）を契約仕様に落とし込みやすい。対ウクライナ支援を契機に、弾薬供給の共同調達・増産がEU政策の前面に出ており、データ管理や標準化を中心に制度が動きやすい

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）

2-5-2-3-3. 海外の動向 対象テーマの領域における主な研究論文（EU）

①～③の各テーマを代表する研究論文を下表に整理した。各論文が示す技術的貢献と、実用化に向けて指摘されている主な課題を整理することで、今後の研究開発や制度・実装との接続を検討する際の基礎情報とする。

関連技術	論文名	国／機関	概要	実用化課題
①新規エネルギー物質の創製技術の確立	Processing, Characterization, and Detonation Testing of Explosive/Wax/Graphite Charges With CL-20/HMX Cocrystals	ドイツ／Fraunhofer ICT・LMU等	CL-20/HMX共結晶を用いた装薬（ワックス/黒鉛系）の加工性・感度・爆轟特性を体系評価。共結晶“設計”が性能と安全性のトレードオフにどう効くかを実験で示す	- 共結晶品質（粒度・欠陥）管理と量産スケールでの再現性 - 感度低減と性能（爆轟特性・出力）の最適バランス設計 - 長期保管・環境劣化・混合材適合などの資格認定試験
	Benchmark Measurements for Energetic Salts: A Prerequisite toward Improved Estimation Methods for Lattice Enthalpy	フランス／CEA (DAM Le Ripault)	21種の高エネルギー塩を合成・特性化し、生成熱を高精度測定。ab initioのイオン生成熱と組み合わせ、格子エンタルピーのベンチマークを構築。既存VBTの限界も整理	- ベンチマークDB拡張と測定再現性（機関間整合） - 推算モデル（VBT/ML）への実装と不確かさ管理 - 新規塩のスケール合成・安定性/取扱い要件の確立
②コンピュータを用いた一気通貫型解析技術の確立	Experimental and Numerical Study of Near-Field Explosion with Small Charges on Composite Structure	フランス／CEA DAM (Ouranos)・CEA DAM Gramat等	近接爆発でセンサ飽和する状況を前提に、部分計測をOuranos (Eulerian) で補外して圧力時刻歴を再構成。MITE複合材構造の応答をAbaqus/Explicitで連成し、剥離まで評価	- 近接場の計測限界（飽和・損傷）を前提にした同定手順の標準化 - ハイドロコード計算コストと検証データ（秘匿条件下）の確保 - 設計規格・脆弱性評価ルールへ落とすための指標化（可否基準）
③日本独自の高エネルギー物質データ管理・標準化手法の確立	A Review of Explosive Ordnance Disposal (EOD) Databases: Interdisciplinary Relevance, Environmental Impact and Future Directions	ポーランド／Łukasiewicz研究ネットワーク・産業有機化学研究所、軍事技術大学	複数の国際的なEODデータベース（TURPIN, Cat-UXO等）を比較分析。データの品質管理（QA/QC）の欠如を指摘し、AIによるホットスポット予測や汚染追跡を可能にする「統一データエコシステム」のロードマップを提示	- 多数の機関間での機密データの安全な共有と異なる分類プロトコルの統一 - データの信頼性が不透明なクラウドソース型情報の取り扱い基準の確立

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）

2-5-2-3-4. 海外の動向 国別の取組み／研究開発の担い手と役割（EU）

EUにおける高エネルギー物質技術関連の研究開発について、研究を担う中核的な組織の役割と分担構造に着目して整理し、各組織が担う研究の性格（基礎理論・評価・実証・実装支援）を明確化した。

組織区分	中核組織	主な役割	代表的な研究・プログラム例	主に生み出される研究成果
基礎理論	ISL (French-German Research Institute of Saint-Louis)	爆轟・衝撃・高ひずみ率などの基盤現象（デトニクス/ショック物理）と材料研究を牽引	ISLの研究領域としての Energetic materials や Shock physics & detonics	反応・爆轟の基礎知見、モデル化の種（構成則/反応モデル）、基盤データ
基礎理論	FOI (Swedish Defence Research Agency)	“材料そのもの”と“弾薬システム”双方の研究を持ち、性能・安全・IM議論を支える	Energetic materialsの 安全性・性能の特性評価 や IMの試験/qualification 議論に関する報告・組織情報	特性評価知見、IM関連の試験論点、材料・推進薬の研究成果（報告書・データ）
評価	Fraunhofer EMI (Ernst-Mach-Institut)	高速衝撃・爆風・構造応答の 実験評価＋数値解析 で、防護・耐爆設計の“根拠”を作る	高速ダイナミクス/衝撃評価に関する研究・試験（材料・構造の動的挙動、衝撃波等）	試験データ、構造損傷モデル、ベンチマーク、設計指針の根拠（V&Vの土台）
評価	TNO (Netherlands Organisation for Applied Scientific Research)	エネルギー物質の特性評価・安全性・資格化（qualification）を含む“現場側の科学”	Energetic materials領域での IM testing & qualification 等を明示	評価手順、資格化に資する試験結果、運用・保管の安全要求へ接続する根拠
実証	Fraunhofer ICT (Institute for Chemical Technology)	エネルギー物質・推進薬などの 材料～プロセス を、実験～パイロット寄りで詰める	“Energetic Materials”領域での研究（explosives/propellants等の材料・加工・評価）	試作配合・プロセス知見、スケールアップ課題、製造・安全の実証データ
実装支援	欧州委員会 DG DEFIS (European Defence Fund: EDF所管)	共同R&Dの資金配分で優先課題を“投票”し、加盟国・企業・研究機関の協業を設計	EDF（欧州防衛基金）のワークプログラム／公募トピック（弾薬・製造・デジタル化等の領域で協調R&Dを形成）	EU横断コンソーシアム、デモ成果、技術成熟ロードマップ、（一部）要求仕様・実装計画
実装支援	European Defence Agency (EDA)	防衛技術の協調枠組み・標準参照（EDSTAR等）で、国境を跨ぐ研究連携を“運用”に接続	EDSTAR（欧州防衛標準リファレンス） 、EMTEEC（Energetic Materials…）等の枠組み/プロジェクト	参照標準の整理、共同研究テーマの形成、技術課題の共通言語化、（一部）評価観点の整流化

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）

2-5-2-4-1. 海外の動向 国別の取組み／戦略文書（英国）

英国において、高エネルギー物質技術に関する研究開発の方向性や設計思想を規定している主な戦略文書について整理した。国家として高エネルギー物質技術をどのような位置づけで捉え、どのような技術的方向性を志向しているかに着目した。

文書名	主体	位置付け・主旨	研究開発の方向性（要点）
Strategic Defence Review 2025 “Making Britain Safer: secure at home, strong abroad”	英政府（主にMoD）	国防の優先事項・体制・投資の再設計を示す上位レビュー	継戦能力重視で弾薬・生産基盤を強化（供給網を含む） “量産/補給”を前提に設計、試験・認証の効率化を志向
Defence Industrial Strategy 2025 “Making Defence an Engine for Growth”	MoD	防衛産業基盤の強靱化・調達改革・成長戦略（供給面の設計図）	弾薬/爆薬系を含む国内生産能力・投資呼び込みを重視・設計～製造までの“スループット”最適化（安全・品質を含む） 標準/要件と産業投資を連動させる実装志向
Defence Command Paper 2023 “Defence’s response to a more contested and volatile world”	MoD	IRR後の防衛方針・能力整備の実行計画（運用ニーズ起点）	在庫/補給・継戦の観点から弾薬・生産を重要視 デジタルによる迅速性の取得。産業との結節を強め生産安全性を供給確保として扱う
Integrated Review Refresh 2023 “Responding to a more contested and volatile world”	英政府（Cabinet Office中心）	国家安全保障・対外政策の上位方針（防衛投資の大枠）	国家レベルで通常戦力・在庫（conventional stockpiles）の強化を明示 防衛産業基盤を競争力/抑止の要素として位置付け 研究開発は“実装（装備化/量産/補給）”と一体で語られやすい
Defending Britain (2024)	英政府	産業基盤・調達改革・R&D投資の加速を打ち出す政策文書	“always-on production（常時生産）”など補給・量産の前提を強調・新たな弾薬戦略/国内生産パイプライン拡大を明示

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）

2-5-2-4-2. 海外の動向 国別の取組み／政策・施策（英国）

英国における高エネルギー物質技術に関する主な政策・施策を下表に整理した。

ここでは、研究開発の成果が**標準化、調達要件、運用ルール等**を通じてどのように具体化してきたかに着目し、制度や運用として現れている状況に着目した。

区分	内容
①戦略文書・ロードマップ（中長期の方向性）	• Strategic Defence Review 2025（SDR）：弾薬・エナジェティクスの常時稼働型供給“always on”、国内生産基盤の再構築を明示 • Defence Industrial Strategy 2025で、防衛を成・革新の牽引役にしつつ、調達・産業基盤・技術導入（デジタル/AI等）の接続を強調
②標準化・規制スケジュール（優先度が表れる場所として）	• IM（Insensitive Munitions）は、国防安全当局（DSA）のOME規程・実務規程（DCOP）を通じて、取得（Acquisition）段階から要求・評価に落ちる。NATOのIM枠組み（例：STANAG 4439）に整合した運用が示され、「設計効率化」や「V&V前提の解析」へ圧力になる • 製造・保管・取扱いは、HSEのExplosives Regulations 2014等の一般規制＋国防内規（爆発物安全・保管・輸送・作業安全）で具体化し、「工程安全」を制度側から規定 • 化学物質規制（PFAS論点）は、材料選択・バインダー等の置換圧力になり得て、生産工程と素材・配合設計にも波及
③公的R&Dプログラム（投資＝将来課題の優先投票）	• Dstl（Defence Science and Technology Laboratory）が防衛S&Tの中核として、評価・実証・要件化へ橋渡し（“制度化手前”を作る役） • DASA（Defence and Security Accelerator）が外部（大学・企業）からの技術提案を吸い上げ、実証や移行を加速（特にデータ駆動設計、モデル/シミュレーション、工程安全の周辺技術を取り込みやすい）
④議会・審議・白書など	• エナジェティクス工場（Factories of the future）の進捗・投資は、議会答弁・ステートメントで継続的に可視化され、産業基盤を政策コミットとして固定化する動き • 監査・審議（例：NAO/議会図書館ブリーフィング）で、弾薬供給・調達・在庫の課題が整理され、投資や制度改定の論拠になる
⑤調達・義務化動向	• “always on”供給を前提に、国内のエナジェティクス/弾薬生産能力を増強（少なくとも複数の新工場計画など）。工程安全・量産を「研究課題」から「国家調達要件」に押し上げる動き • IM要求の制度内蔵（DSA/OME）により、調達の upstream で「IM試験・評価・設計配慮」が事実上の必須条件化しやすい

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）

2-5-2-4-3. 海外の動向 対象テーマの領域における主な研究論文（英国）

①～③の各テーマを代表する研究論文を下表に整理した。各論文が示す技術的貢献と、実用化に向けて指摘されている主な課題を整理することで、今後の研究開発や制度・実装との接続を検討する際の基礎情報とする。

関連技術	論文名	国／機関	概要	実用化課題
①新規エネルギー物質の創製技術の確立	Understanding impact sensitivity of energetic molecules by supervised machine learning	英国／University of Edinburgh	485種類の分子データセットを用い、SMILESから得られる特徴量で衝撃感度を5つのクラスに分類。SHAP分析により、酸素バランスと分子の柔軟性が感度を決定づける主要因であると可視化	- 学習データの偏り/再現性（試験条件差）の吸収 - 未知化学空間への外挿の信頼性と説明可能性 - 評価規格・認証プロセスへの組み込み
②コンピュータを用いた一気通貫型解析技術の確立	Blast Effects on Buried Infrastructures	英国／University of Birmingham	埋設鋼管の内部爆発に対し、爆風荷重・地盤・構造連成・材料健全性変化を統合したFE枠組みを提示。主要パラメータ感度を整理し、設計・保全の意思決定に接続	- シナリオ不確実性（荷重・地盤・劣化）の取り扱い - 実事故/実験データによる検証の拡充と限界明示 - インフラ規格・運用基準への落とし込み
	Fast-running thermochemical predictions of quasi-static pressure for confined detonations of plasticised high explosives	英国／University of Sheffield	閉鎖空間爆発で支配的な準静的圧力（QSP）を、熱化学＋（反応性雰囲気での追加反応も含む）で高速推定する枠組みを提示。構造被害評価の入力生成を効率化	- 反応モデルの妥当性/保守性設定 - CFD/構造応答との連成手順（エンドツーエンド検証） - 設計基準・安全審査で使える形の余裕代設計
③日本独自の高エネルギー物質データ管理・標準化手法の確立	Using the combustion continuum to distinguish between explosive material and explosive article reactions	英国／Cranfield University、英国国防省（MOD）	燃焼、爆燃、爆轟を同一の酸化プロセス内の「速度」で定義する「燃焼コンティニウム」を開発。弾薬のケーシングや機械的挙動が反応に与える影響を組み込み、不発弾処理（EOD）の統一的な評価尺度を確立	- ケーシングの破碎メカニズムなどマクロな物理現象はシミュレーション上の完全再現が困難 - 現場での証拠分析に基づき、反応タイプを迅速に特定するための自動診断システムの構築には用語・概念・判断基準等の統一化が必要

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）

2-5-2-4-4. 海外の動向 国別の取組み／研究開発の担い手と役割（英国）

英国における高エネルギー物質技術関連の研究開発について、研究を担う中核的な組織の役割と分担構造に着目して整理し、各組織が担う研究の性格（基礎理論・評価・実証・実装支援）を明確化した。

組織区分	中核組織	主な役割	代表的な研究・プログラム例	主に生み出される研究成果
基礎理論	University of Sheffield (Blast & Impact 等)	爆風・衝撃・構造損傷の基礎現象とモデル化を推進	Blast & Impact研究（爆発荷重、構造応答、保護設計など）	基礎モデル、ベンチマーク用データ、損傷評価指標、学術知見
評価	民間企業	エナジエティクス（爆薬・推進薬等）の試験・評価、モデル/シミュレーション支援	Energetics領域の解析・試験・安全性評価サービス。	評価レポート、試験データ、適用限界の明確化、認証・受容に近いエビデンス
実証	民間企業	高爆薬・衝撃現象を含む“極限条件”の実験・解析基盤を持ち、爆轟～構造系の実証データとモデル高度化に寄与	Hydrodynamics / High Explosives Engineering 等の研究・エンジニアリング領域	実験データ（衝撃/爆轟/構造応答）、 検証済みモデル、試験設計ノウハウ
実装支援	Dstl (Defence Science and Technology Laboratory)	国防省の中核S&T機関として、要求定義と研究資金・実装接続を担う。	DASA等を通じた テーマ型R&D公募 （爆発物・兵器関連の技術課題設定と資金供給）	調達・運用に接続する要件、評価観点、実装ロードマップ、PoC成果
実装支援	国内大学	国防・産業に近い教育研究拠点として、①素材設計や③安全生産を人材・試験設計・実装面から支える	Centre for Defence Chemistry、Centre of Excellence for Energetic Materials (COEEM)	産業適用を意識した技術者育成、評価手順、実装に近い研究成果（指針・試験）

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）

2-5-2-5-1. 海外の動向 国別の取組み／戦略文書（中国）

中国において、高エネルギー物質技術に関する研究開発の方向性や設計思想を規定している主な戦略文書について整理した。国家として**高エネルギー物質技術をどのような位置づけで捉え、どのような技術的方向性を志向しているか**に着目した。

文書名	主体	位置付け・主旨	研究開発の方向性（要点）
「第14次五カ年計画（2021–2025）・2035年遠景目標綱要」(2021)	全人代/国務院系（国家計画）	国家の産業・科技・安全保障の最上位計画。 自立自強 と先端製造を強く志向	先端材料・製造の国産化、重要分野の供給安全を重視。デジタル化/智能化で設計～製造の高度化を促進（材料DX/CAE・HPC等の基盤整備）
「国家标准化发展纲要（2021–2035）」(2021)	中共中央・国務院	標準で産業競争力を握る長期方針（中国標準2035文脈）	標準を研究開発と連動させ、評価・試験・品質/安全のルールを整備し実装へ接続。国際標準での発言力確保も志向
「“十四五”原材料工业发展规划」(2021)	工信部・科技部・自然资源部	原材料（新材料含む）の強靱化計画。重要材料の供給安全と品質・標準を重視	重要材料の自立化、品質・標準体系の整備、緑色化・智能化による製造高度化（工程監視・安全管理の強化）を後押し
「輸出管制法」(2020)+（関連）「两用物項の輸出管理規制」等	全人代常務委/国務院・商務部系	先端・両用技術/物項の移転管理を強化し、技術・供給網を保護	供給網・技術の囲い込み（域内化、代替、部材・前駆体の確保）を後押し。研究段階から“移転制約前提”の設計・運用（コンプラbyデザイン）を誘発
「新时代的中國国防 / China's National Defense in the New Era」(2019)	国務院新聞弁公室（SCIO）	国防近代化の方針を示す白書。技術革新・体系化能力の強化を重視	国防分野での科技革新、モデル化・シミュレーション、装備の信頼性/安全性向上など、R&Dを“体系で回す”方向性を示唆
「新一代人工智能发展规划」(2017)	国務院	AIを国家競争力の中核に据え、産業・安全保障を含む広範分野で適用を推進	データ駆動設計（材料/分子探索、最適化、UQ等）や、複雑系の予測・制御（シミュレーション高度化、工程最適化）を加速する基盤方針
「中国製造2025」(2015)	国務院	製造強国の産業政策。高度材料・智能制造・グリーン製造を柱に“国産化率”を引き上げる思想	材料・部材の自主供給、プロセス高度化、スマート製造（デジタル設計/シミュレーション/品質管理）を政策的に後押し

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）

2-5-2-5-2. 海外の動向 国別の取組み／政策・施策（中国）

中国における高エネルギー物質技術に関する主な政策・施策を下表に整理した。
ここでは、研究開発の成果が**標準化、調達要件、運用ルール等**を通じてどのように**具体化してきたか**に着目し、
制度や運用として現れている状況に着目した。

区分	内容
①戦略文書・ロードマップ （中長期の方向性）	- 工信部：民爆業「十四五」安全発展規画（2021-2025）で、工程の本質安全化・デジタル化、少人化/無人化等を通じた事故低減と産業高度化を志向 - 国家標準化発展綱要（～2035）で、標準を産業競争力・安全/品質の基盤制度として強化
②標準化・規制スケジュール （優先度が表れる場所として）	民用爆炸物品安全管理条例により、民爆の生産・販売・購入・輸送等を許可/管理する枠組みを規定 - 安全生産法（改正）に基づく安全責任・管理要求の強化 「工業互聯網＋安全生産」行動計画（2021-2023）は、産業デジタル化を安全管理高度化に結びつける実装指針 輸出管制法（2020）および両用物項輸出管制条例（2024）により、関連物項の外向き管理を制度化（供給網・技術流出管理に接続
③公的R&Dプログラム （投資＝将来課題の優先投票）	- 国家自然科学基金（NSFC）等で、爆轟・推進・衝撃等の基礎研究テーマが継続的に立ち上がる。例：爆轟推進に関する重点/专项の公表事例 中国科学院（CAS）系の研究組織で、含能材料（energetic materials）と安全に関する研究を推進 - 工信部の民爆政策パッケージの中で、安全技术・無人化等の導入が産業施策として位置づけられる
④議会・審議・白書など	- 国防白書（例：2019「新时代的中国国防」）で国防建設・装備近代化の大枠を提示 - 輸出管制白書（2021）で、輸出管制の体制・分担を説明（技術・物項管理を“国家能力”として明示）
⑤調達・義務化動向	（民爆）安全管理条例に基づき、許認可・管理を満たすことが事実上の参入要件となり、安全投資（工程監視・デジタル化・少人化）が導入圧力として働く （軍需）武器装备科研生产许可管理条例などにより、軍需の科研生産を許可管理し、品質・安全・保密を要求 （制度補助線）輸出管制法/両用物項輸出管制条例により、対外取引での要件が強化され、企業のコンプライアンス・バイ・デザインが実務要請になりやすい

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）

2-5-2-5-3. 海外の動向 対象テーマの領域における主な研究論文（中国）

①～③の各テーマを代表する研究論文を下表に整理した。各論文が示す技術的貢献と、実用化に向けて指摘されている主な課題を整理することで、今後の研究開発や制度・実装との接続を検討する際の基礎情報とする。

関連技術	論文名	国／機関	概要	実用化課題
①新規エネルギー物質の創製技術の確立	A New Design Strategy of Series of Tetrazole-Based High-Energy-Density Energy Storage Molecular Systems	中国 / 南京理工大学、北京理工大学	窒素原子を中心に3つのテトラゾール環を配置した三環式骨格を設計。-NH ₂ や-NO ₂ 基の導入により、高い爆速（理論値9000 m/s超）とゼロ酸素バランスを達成。密度汎関数法（DFT）により、その卓越した爆発性能と熱安定性が証明された	- 三重テトラゾール環構造における立体障害と電子反発により、分子の平面性が失われ、結晶密度の最大化が阻害される - 大規模合成時における構造安定性の維持が課題
	Reverse 15N Kinetic Isotope Effect Amplifies the Energy Release of Ammonium Perchlorate	中国 / 北京理工大学、上海化学工業研究院	推進剤の酸化剤である過塩素酸アンモニウム（AP）を ¹⁵ Nで同位体置換。逆運動学的同位体効果（KIE）により低温分解を加速させ、衝撃波速度とエネルギー放出強度の向上に成功	¹⁵N同位体の分離・濃縮プロセスには多大なエネルギーとコストを要する - 軍事用特殊用途以外の広範な推進剤システムへの適用には、同位体供給源の確保が課題
②コンピュータを用いた一気通貫型解析技術の確立	Switch on amine substrate reactivity towards hexaazaisowurtzitane cage: Insights from a tailored machine learning model	中国 / 北京理工大学	高性能爆薬CL-20の合成プロセスにおいて、アミン基質の反応性を予測する機械学習モデルを構築。cage構造の形成効率を最大化するための合成経路をデジタル上で最適化	実際の合成プロセスにおける触媒効果や溶媒の極性が与える影響を完全に記述できておらず、計算上の最適条件とラボでの実験結果との乖離を埋める必要がある
	Data-driven multiscale modeling of crack evolution in compressed energetic composites	中国 / 北京理工大学	衝撃圧縮を受けるエネルギー性複合材料内の亀裂進展を、離散要素法（DEM）とデータ駆動型モデルを組み合わせで解析。ミクロな結晶破壊がマクロな爆轟感度に及ぼす影響を定量化した	計算コストが極めて高く、数マイクロ秒単位の高速変形現象をフルスケールでシミュレートするにはさらなるアルゴリズム効率化とハードウェア最適化が不可欠
③日本独自の高エネルギー物質データ管理・標準化手法の確立	EM Database v1.0: A benchmark informatics platform for data-driven discovery of energetic materials	中国 / 中国工程物理研究院（CAEP）	約10万件の計算データと1万件の実験データを統合したエネルギー物質に特化した世界最大級のデータベース。物性予測、構造検索、感度評価を統合したハイスループット探索を可能にする	異なる文献間でデータの測定条件が不統一であり、データの信頼性を担保するための「キュレーション（精査）」作業に膨大な時間と専門知識が必要

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）

2-5-2-5-4. 海外の動向 国別の取組み／研究開発の担い手と役割（中国）

中国における高エネルギー物質技術関連の研究開発について、研究を担う中核的な組織の役割と分担構造に着目して整理し、各組織が担う研究の性格（基礎理論・評価・実証・実装支援）を明確化した。

組織区分	中核組織	主な役割	代表的な研究・プログラム例	主に生み出される研究成果
基礎理論	国内大学	爆発・衝撃・爆風と構造応答の基礎、モデル化と実験を統合し、 保護工学・爆発荷重評価の学術基盤 を形成	爆発荷重、衝撃波、構造応答、保護工学等の研究領域を掲げる重点実験室運営	支配方程式・物理モデル、ベンチマーク実験、検証用データ、解析手法（学術論文・データセット）
基礎理論	国内大学	含能材料（エネルギー材料）の 基礎化学・物性・反応挙動 、低感度化や性能両立の材料設計研究	“Special Energy Materials”系の国家重点実験室として研究基盤を整備	新規材料コンセプト、物性・安全性評価知見、材料設計指針（論文・特許・試験法）
基礎理論	中国工程物理研究院（CAEP） Institute of Applied Physics and Computational Mathematics	高忠実度数値計算・計算物理の中核。 衝撃・高速現象の計算科学 、HPC、モデル高度化を牽引	CAEP配下の計算物理系研究機関として研究機能を掲げる	高忠実度シミュレーション技術、数値解法、計算コード基盤、V&Vの前提となる計算資産
基礎理論	CAEP Institute of Chemical Materials（ICM）	含能材料・化学材料側の研究拠点。材料合成・特性評価・材料体系化（学術アウトプットの供給源）	学術誌（Chinese Journal of Energetic Materials）運営に関与する旨など公開情報	材料物性・反応特性 の知見、評価データ、設計指針（論文・レビュー・特許）
評価	CAEP Institute of Fluid Physics（IFP）／National Key Laboratory of Shock Wave and Detonation Physics	衝撃波・爆轟物理の実験・理論・モデルの評価拠点。爆轟・衝撃の基礎データとモデル検証の“物差し”を提供	“Shock Wave and Detonation Physics” 国家重点実験室として論文所属にも登場	爆轟・衝撃波の基準データ 、モデル検証結果、評価指標（ベンチマーク、計測法、校正）
実装支援	中国兵器工業系：西安近代化学研究所（Xi'an Modern Chemistry Research Institute／204研究所）	含能材料・燃焼（火薬/推進薬等）領域で、 国防系の研究開発から計測・理化検査センター まで抱える“研究→試験→品質”の束ね役	研究所内に国防科技重点実験室・計量ステーション・理化検査/品質監督センター等を設置	スケールアップ知見、工程条件の作り込み、品質試験・計測体系、実装可能な材料/工程仕様
実装支援	中国安全科学研究院（CASST：China Academy of Safety Science and Technology）	生産・保管・輸送を含む安全技術、リスク評価、事故防止、標準・技術サービスを担う	安全科学・技術サービス（検査・認証・標準等）を掲げる公開情報	安全評価手法、リスク評価レポート、運用ルール化の土台（ガイドライン、標準化支援）

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）

2-5-2-6-1. 海外の動向 国別の取組み／戦略文書（韓国）

韓国において、高エネルギー物質技術に関する研究開発の方向性や設計思想を規定している主な戦略文書について整理した。国家として高エネルギー物質技術をどのような位置づけで捉え、どのような技術的方向性を志向しているかに着目した。

文書名	主体	位置付け・主旨	研究開発の方向性（要点）
国防科学技術革新 施行計画（2025）	防衛技術情報統合サー ビス	具体施策として、「火薬取扱施 設の安全補強」を明記（在庫・ 工程の安全に直結）	R&Dは新素材探索だけでなく、 危険源低減・封じ込め・監視 （計測）・手順標準化 まで含む工学実装が優先されやすい
国防科学技術革新 基本計画（'23～'37）	国防部（MoD）	国防戦略技術の重点分野とし て、推進・エネルギーや先端素 材等を含む複数の重点領域を 提示	高エネルギー物質は推進・エネルギー、先端素材の下に位置付 けられ、 材料起点（新規化学系）＋システム起点（弾薬・誘 導弾適用） を束ねて推進する設計思想になりやすい
国防科学技術革新 施行計画（2023）	防衛事業庁（DAPA） 等	基本計画を受けた年次計画と して、 戦略技術・核心技術の体 系化、需要牽引、官民連携 な ど運用面の強化を示す	火薬そのものの記述が薄くても、需要（軍の課題）→R&D→ 評価→導入の筋道を制度側で整える方向
第3次 防衛産業発展 基本計画（'23～'27）	防衛事業庁（DAPA）	国防R&D・産業基盤の強化を 大枠で整理し、上位の計画 （基本計画等）との接続を示 す。計画文脈の中で、誘導弾 推進薬等の試験・評価 （DTaQ）に言及が見られる	高エネルギー物質は技術そのものより、 供給網・生産基盤・認 証・調達要件 を通じて実装されやすい 作る研究よりも 計測性や説明性 が上流から重視される。設計効 率化や統合シミュレーションは、 試験設計・検証枠組みと一体 で 提示すると政策文書の流れと合致

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）

2-5-2-6-2. 海外の動向 国別の取組み／政策・施策（韓国）

韓国における高エネルギー物質技術に関する主な政策・施策を下表に整理した。
ここでは、研究開発の成果が**標準化、調達要件、運用ルール等**を通じてどのように具体化してきたかに着目し、制度や運用として現れている状況に着目した。

区分	内容
① 戦略文書・ロードマップ（中長期の方向性）	- 国防省の「国防革新4.0基本計画」は、先端科学技術を軸に技術獲得から運用までのデジタル化・高度化（AI/データ活用等）を掲げ、将来的に一気通貫型の解析・運用を制度側の目標として明確化 - 防衛装備/防衛産業の育成方針の中で、素材・部品・技術ロードマップや重点分野投資が示され、弾薬・推進薬等を含む“防衛素材・基盤技術”が優先領域として扱われる
② 標準化・規制スケジュール（優先度が表れる場所として）	- 軍用の火薬類等は「防衛事業法」第53条で、製造・輸出入・譲渡・所持・使用・貯蔵・運搬・廃棄までをDAPA（防衛事業庁）が許可・監督する枠組みを置き、R&D成果が許認可・監督ルールとして運用に落ちる導線を法定化。同施行令（例：第66条）で、どの行為が許可対象か等の要件が具体化され、行政指針（許可・監督に関する指針）で運用細目が整備されている - 国防標準（国防規格/国防標準書）は、標準化業務規程・作成指針で作り方/改廃/審議が制度化され、運用維持段階では規格の定期レビュー（3～5年周期）で改定・廃止する仕組みが示される
③ 公的R&Dプログラム（投資＝将来課題の優先投票）	- DAPA「国防技術研究開発事業」は挑戦/核心技術/迅速実証などの枠で公的投資を配分し研究成果を装備化へ繋げる制度設計 - 国防技術振興研究所（KRIT）は、国防R&Dの企画・管理機能を担う機関として位置づけられ、民軍技術協力等も含めて研究から実装の橋渡しを制度的に担当。民軍技術協力（例：民軍規格標準化等）を通じ、規格化・標準化を伴うR&Dを後押しする施策が進められている
④ 議会・審議・白書など	国防白書は国防政策・戦力建設・研究開発の方向性を対外的に説明する文書としてR&D重点や制度改編の正当化・継続性を付与 - 防衛事業法に基づく運用（軍用火薬類等の許可・監督）や標準化業務規程の改正などは、行政規則・指針として公開され、審議・統制の痕跡が制度文書として残る
⑤ 調達・義務化動向	- 国防規格は「軍需品の物理/化学特性、製造方法、試験方法の標準」を定め、品質管理と調達効率の基盤として活用される旨が明記され、企業は規格に合わせて開発・供給することが実装の入口になる KDSIS（国防標準総合情報システム）の高度化により、技術資料の蓄積・変更反映・品質管理をAI等で支援し、2D/3Dモデルまで扱うことで、設計データを含む標準・要求の運用を強化 - サプライヤ側の要件として、国防品質経営システムがKDS規格を基準に運用され、調達における“参入・継続”の実質要件として機能

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）

2-5-2-6-3. 海外の動向 対象テーマの領域における主な研究論文（韓国）

①～③の各テーマを代表する研究論文を下表に整理した。各論文が示す技術的貢献と、実用化に向けて指摘されている主な課題を整理することで、今後の研究開発や制度・実装との接続を検討する際の基礎情報とする。

関連技術	論文名	国／機関	概要	実用化課題
①新規エネルギー物質の創製技術の確立	Effect of Micro and Nano Carbon Materials on the Combustion and Propulsion Performances of Energetic Materials	韓国 / 釜山大学	Al/CuO系高エネルギー材料にmC60とnCBを添加し、発熱、圧力、燃焼速度、推進性能の最適添加量を探索した	- 感度と安全性の両立 - 組成最適化後の量産再現性
	Gasification Characteristics of Al/Bi2O3/NaN3-based High-Energy Material Composites	韓国 / 釜山大学	Al、Bi2O3、NaN3をエアロゾル噴霧乾燥で複合化し、放出熱、燃焼速度、爆発圧、ガス発生量を評価した	- 添加量過多で推進特性が劣化 - 実機適用時の感度管理と均一分散
②コンピュータを用いた一貫通貫型解析技術の確立	Development of an empirical vibration estimation formula for prediction of blasting vibration considering the characteristics of each carcinoma	韓国 / 韓国建設技術研究院	岩種別に発破振動の経験式を再構築し、装薬量と距離だけでは拾いきれない地質差を予測式へ織り込んだ	- 地域や施工条件が変わると再較正が必要 - 経験式依存で一貫通貫自動化はまだ限定的
③日本独自の高エネルギー物質データ管理・標準化手法の確立	Deep learning-based fracture degree prediction reflecting the hierarchical structure of blasting construction data	韓国 / 韓国建設技術研究院	7,728件の発破と90万件超の穿孔データを用い、attentionベースdeep setsで破砕度を高精度予測した	- 企業内データ構造を業界標準へ広げる必要 - 説明可能性と監査可能性の整備が必要

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）

2-5-2-6-4. 海外の動向 国別の取組み／研究開発の担い手と役割（韓国）

韓国における高エネルギー物質技術関連の研究開発について、研究を担う中核的な組織の役割と分担構造に着目して整理し、各組織が担う研究の性格（基礎理論・評価・実証・実装支援）を明確化した。

組織区分	中核組織	主な役割	代表的な研究・プログラム例	主に生み出される研究成果
基礎理論	KAIST（韓国科学技術院）	推進薬・燃焼・反応流体など高エネルギー反応の基礎現象理解、モデル化、計測手法の高度化	Perigee-KAIST Rocket Research Center による推進・燃焼の研究、学位論文/学術研究としての燃焼試験・解析研究	反応・燃焼の理論モデル、計測/実験手法、シミュレーション検証用データ、材料/推進系の基礎知見
評価	国防技術品質院（DTAQ）	開発段階の品質管理、量産段階の品質保証、標準化・品質認証などを担い、要求仕様・試験評価を制度運用に落とす	国防規格の適合性検討・改廃、民軍規格の標準化、形状管理など（公開情報で業務として明示）	評価指標、試験プロトコル、国防規格・国防標準書の改定案、適合性判断の根拠データ
実証	ADD（国防科学研究所）	兵器・弾薬・推進系を含む“国防の中核技術”を研究開発し、性能実証まで主導	例：火薬/反応性素材の性能向上に関する技術開発（政府発表・報道で言及）	爆轟/爆風/燃焼の統合解析モデルの妥当性確認データ、試験データセット
実証	民間企業	エンジン・推進系の開発/製造・試験を通じ、研究成果を“量産設計・品質”へ落とし込む	ヌリ号（KSLV-II）向けエンジン関連の製造・納入、打上げシステム関連の技術要素	認定試験・製造プロセス・品質データ、推進系の設計/運用ノウハウ、実機データ
実証	Poongsan（豊山）防衛技術研究院	弾薬・関連システムの研究開発を担い、試作・評価を通じて“製品化の出口”を作る	研究院の整備と弾薬高度化、学会発表・R&D活動	弾薬・装薬系のプロトタイプ、試験結果、設計ノウハウ
実装支援	KRIT（国防技術振興研究所）	国防R&Dの企画・管理・評価と、防衛産業育成（部品国産化・中小/ベンチャー支援等）を“実務の推進役”として担う	国防R&D課題の企画・管理・評価、産業育成支援（公式説明）	研究課題の要件定義・評価基準、PoC→実証→移転の支援スキーム、産業側へ渡せる技術パッケージ

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）

2-5-2-7-1. 海外の動向 国別の取組み／戦略文書（日本）

日本において、高エネルギー物質技術に関する研究開発の方向性や設計思想を規定している主な戦略文書について整理した。国家として**高エネルギー物質技術をどのような位置づけで捉え、どのような技術的方向性を志向しているか**に着目した。

文書名	主体	位置付け・主旨	研究開発の方向性（要点）
統合イノベーション戦略2025	内閣府	第6期科学技術・イノベーション基本計画の最終総仕上げ。経済安全保障を基軸とした技術開発を加速	マテリアル産業の競争力維持と、サプライチェーン強靱化の鍵となるエネルギー関連マテリアルの研究開発。計算資源（AI・シミュレーション）の高度化による開発加速
防衛技術指針（2023）	防衛省	防衛技術の作る・育てる・知るの考え方を提示し、産学官・スタートアップも含むエコシステムを政策的に設計	早期の能力化をにらんだ技術創出を強調（設計思想は迅速化・機動化）
防衛生産基盤強化法（2023）	防衛省/防衛装備庁	装備品の安定供給を制度で担保する枠組み。供給網・製造基盤を“政策対象”として明示	「火薬類を含む」対象領域を想定しつつ、サプライチェーン調査や基盤強化を制度化。創製や製造技術の高度化を“供給確保”の要請と接続しやすくする
国家防衛戦略・防衛力整備計画（2022）	防衛省 / 内閣府	スタンド・オフ防衛能力や持続性・強靱性の抜本的強化を明記	弾薬の早期かつ安定的な確保。国内製造態勢の拡充を後押しし、高性能かつ低感度（安全性）な次世代高エネルギー物質の導入を推進
国家安全保障戦略（2022）	内閣官房	安全保障の最上位戦略。防衛と経済安全保障を一体で捉え、技術・産業基盤を安全保障の中核要素として位置付け	防衛生産・技術基盤の強化、研究開発の推進を通じた抑止力強化の文脈で、（直接名指しでなくとも）弾薬・推進系を含む重要装備の自律性確保を後押し

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）

2-5-2-7-2. 海外の動向 国別の取組み／政策・施策（日本）

日本における高エネルギー物質技術に関する主な政策・施策を下表に整理した。
ここでは、研究開発の成果が**標準化、調達要件、運用ルール等**を通じてどのように具体化してきたかに着目し、制度や運用として現れている状況に着目した。

区分	内容
① 戦略文書・ロードマップ（中長期の方向性）	- 防衛の最上位計画（防衛力整備計画等）で、弾薬・誘導弾の数量増とそれに連動する火薬庫等の整備を「持続性・強靱性」の柱として明示 材料分野の国家戦略で、国費研究（実験/計算）データの優先領域の同定、共通メタデータ/フォーマット、持続的DB運営を明記
② 標準化・規制スケジュール（優先度が表れる場所として）	- 防衛調達の“標準の受け皿”として、防衛省規格（NDS）を整備（試験方法・検査方法・材料・用語などを規格化） - 防衛調達の“要求の言語”として、防衛省仕様書（DSP）を整備（形状・品質・試験/検査方法・包装/表示などを仕様化） - 民生含む火薬類の安全規制では、火薬類取締法の下で火薬庫の距離要件等が見直し対象となり施行規則改正として運用に反映
③ 公的R&Dプログラム（投資＝将来課題の優先投票）	- 防衛装備庁の安全保障技術研究推進制度：将来の防衛分野R&Dに資する民生先端技術の基礎研究を外部研究機関に競争的資金で支援（①新規物質/②解析の下支えに使われやすい型） 材料DX（国費研究データの基盤整備）：NIMS等を中核に、データの統合・管理・利活用を見据えた基盤を共用開始
④ 議会・審議・白書など	- 防衛白書等で、継戦能力の観点から弾薬の生産能力向上や火薬庫整備を最優先課題として説明 - 火薬類の技術基準見直しは、審議会資料として「実験結果を踏まえた換算値/保安距離の見直し」等が示され、制度改正の論点が公開される - 防衛装備移転の議論（国会調査資料等）では「武器」の定義に火薬類が含まれる旨などが整理され、移転/管理の制度設計の文脈で位置づけが明確化される
⑤ 調達・義務化動向	- 防衛力整備計画で、弾薬取得と連動する火薬庫整備を明示 - 調達の実務では、NDS（規格）とDSP（仕様書）が仕様・試験・検査・包装等の要求として機能し、R&D成果はここに吸収される形で運用ルール化されやすい - 防衛生産基盤強化法により、供給網強靱化・製造工程効率化・サイバー対策、サプライチェーン調査、秘密保全、国による製造施設の取得/管理委託などを制度化 火薬類取締法体系の運用（距離要件・貯蔵量換算等）の見直しは、火薬庫整備や保管運用の現実性に直結し、結果として弾薬保管・生産のボトルネック条件を動かし得る

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）

2-5-2-7-3. 海外の動向 対象テーマの領域における主な研究論文（日本）

①～③の各テーマを代表する研究論文を下表に整理した。各論文が示す技術的貢献と、実用化に向けて指摘されている主な課題を整理することで、今後の研究開発や制度・実装との接続を検討する際の基礎情報とする。

関連技術	論文名	国／機関	概要	実用化課題
①新規エネルギー物質の創製技術の確立	Preparation and analysis of 3-amino-1,2,4-triazolium nitrate synthesized via electrolytic oxidation	日本 / 横浜国立大学	硝酸などの危険な試薬を大量に使用せず、電解酸化法を用いてトリアゾール誘導体と硝酸アンモニウムから高品質なエネルギー塩を合成。従来法よりも発熱量が高く、プロセス安全性の高い経路を確立した	- 電解合成プロセスのエネルギー効率向上と、電極の耐久性確保 - 工業スケールでの連続生産を可能にするための反応器（セル）設計の最適化が必要
	Enhancement of the burning performance of ammonium nitrate via cocrystallization	日本 / 横浜国立大学	4-アミノ-1,2,4-トリアゾールを共結晶成分として用い、硝酸アンモニウム（AN）の燃焼速度を劇的に向上させた。分子レベルでの均一混合により、ANの低燃焼性という弱点を克服	共結晶構造の長期保存時における安定性。特に、日本の湿潤な気候下での吸湿性抑制と、熱サイクルに対する相転移の防止が実用化の課題
②コンピュータを用いた一気通貫型解析技術の確立	Semiconductor Process Simulation Studies by ReaxFF Molecular Dynamics Methods	日本 / 東北大学、新潟大学	爆発化学にも用いられる反応性力場「ReaxFF」を、半導体製造プロセスの原子レベル挙動解析に転用。極限環境下での物質変換を予測するデュアルユース性の高い解析基盤を構築	- 特定のエネルギー物質ごとに、第一原理計算に基づくReaxFFパラメーターの精密なフィッティングが必要 - 汎用的な力場の開発と計算速度のさらなる向上が求められる
③日本独自の高エネルギー物質データ管理・標準化手法の確立	Influence of Manufacturer-Dependent Variations in Plate and Peg Properties on Friction Sensitivity	日本 / 横浜国立大学、チェコ / OZM Research等	世界中で使用されるBAM摩擦感度試験機において、陶板や棒のメーカー差（表面粗さや硬度）が測定値に与える影響を分析。接触圧力の定量的評価により、試験結果の国際的な相互評価基盤を構築	標準化が進んでも、湿度やオペレーターの熟練度など、依然として残る「不確かさ（Uncertainty）」の要因を排除するための、AIを用いた評価の自動化が期待される

2-5. 高エネルギー物質技術（火薬・爆薬）

2-5-2-7-4. 海外の動向 国別の取組み／研究開発の担い手と役割（日本）

日本における高エネルギー物質技術関連の研究開発について、研究を担う中核的な組織の役割と分担構造に着目して整理した。

組織区分	中核組織	主な役割	代表的な研究・プログラム例	主に生み出される研究成果
基礎理論	国内大学	新規エネルギー物質の分子設計、グリーン合成技術の開発	電解酸化法による高エネルギー塩の合成、酵素的ニトロ化技術	新規物質の分子構造、精密合成ルート、反応熱データ
基礎理論	国内大学	圧縮性流体力学と燃焼・爆発現象の複合解析。計算主導による超音速推進機関（RDE等）や安全工学の高度化	超音速燃焼器開発を支援するシミュレーション技術の研究、回転デトネーションエンジン（RDE）の数値実証	爆轟波（デトネーション）の伝播物理モデル、高速燃焼場の予測アルゴリズム、爆発事象の安全性評価指標
評価	産業技術総合研究所（AIST）	安全性・安定性の定量的評価、物性データベースの構築	高圧力環境下での物質変換評価、ハザード評価ツールの開発	ハザードインデックス、標準物性データベース
評価	日本火薬学会（JES）	試験法の国際標準化、学術的データの集約と提供	BAM摩擦感度試験の物理的因子の解明、JIS規格のデジタル統合	国際標準試験プロトコル、感度試験データ
実証	宇宙航空研究開発機構（JAXA）	高性能推進剤の実機適用、極超音速エンジンへの実装実証	回転デトネーションエンジン（RDE）の飛行実証試験	推力性能データ、デトネーション波制御技術
実証	防衛装備庁（ATLA）	防衛装備品への最適化実装、威力・感度両立技術の実証	先端誘導弾用高性能バインダー、反応性可塑剤の評価	実証試作モデル、調達要求仕様書案
実装支援	国内企業	量産技術の確立、製造プロセスの高度化と安定供給	弾薬の国内製造態勢拡充プロジェクト、自動化ライン導入	工業化プロセス、量産品質管理規格



Lighting the way
to a brighter society