

# 経済安全保障重要技術育成プログラムに係る 研究開発ビジョン検討ワーキンググループにおける 検討結果について（報告）

# 研究開発ビジョン検討ワーキンググループ（WG）開催実績

これまでに計7回開催（第二回は領域毎に実施）

- 6月21日（火）：第一回 全体会議①
- 6月27日（月）：第一回 全体会議②
- 7月5日（火）：第二回 海洋領域セッション
- 7月12日（火）：第二回 宇宙・航空領域セッション
- 7月12日（火）：第二回 領域横断・サイバー空間、バイオ領域セッション①
- 7月13日（水）：第二回 領域横断・サイバー空間、バイオ領域セッション②
- 7月19日（火）：第三回 全体会議

# 研究開発ビジョン検討ワーキンググループ（WG）委員

※敬称略

松本 洋一郎（主査）	外務大臣科学技術顧問
小濱 広志	三菱重工マリタイムシステムズ株式会社
金田 安史	大阪大学副学長
河岡 義裕	国立国際医療研究センター国際ウイルス感染症研究センター 東京大学医科学研究所特任教授
齊藤 裕	情報処理推進機構 デジタルアーキテクチャ・デザインセンター長
鈴木 真二	東京大学名誉教授、未来ビジョン研究センター特任教授
高木 健	東京大学大学院新領域創成科学研究科教授
辻井 潤一	産業技術総合研究所 フェロワー・人工知能研究センター長
中須賀 真一	東京大学大学院工学系研究科教授
松本 勉	横浜国立大学大学院環境情報研究院教授
盛合 志帆	情報通信研究機構 サイバーセキュリティ研究所長
山岡 建夫	日本航空宇宙工業会 常務理事
萬 伸一	理化学研究所 量子コンピュータ研究センター 副センター長

# 研究開発ビジョン検討ワーキンググループ（WG）専門委員

※敬称略

江崎 浩	デジタル庁Chief Architect、東京大学大学院情報理工学系研究科教授
川崎 雅司	東京大学大学院工学系研究科（附属量子相エレクトロニクス研究センター）教授、理化学研究所創発物性科学研究センター副センター長
川原 圭博	東京大学大学院工学系研究科教授
黒田 忠広	東京大学大学院工学系研究科教授
小林 哲彦	大阪産業技術研究所 理事長
菅 裕明	総合科学技術・イノベーション会議議員（非常勤）
巻 俊宏	東京大学生産技術研究所准教授

経済安全保障重要技術育成プログラムに係る  
研究開発ビジョン検討ワーキンググループ  
海洋領域

# 海洋領域：取組を強化すべき今後の課題に関する背景等

## 【基本的なニーズ（海洋に関する情報収集・分析・共有体制）に係る課題認識※】

※関係省庁・有識者からの事務局ヒアによる。

- 現状、観測システムとして衛星、船舶、ブイ等の様々な手段が用いられているが、得られる観測データは、海上・海面・浅海域のものが多く、海中・海底では局所的なものに留まり、**効率面・効果面も含め海洋全般の観測には限界**が存在。
- 海中・海底の観測に自律型無人探査機（AUV）が活用されているが、目標にAUVを展開するには、AUVの性能等だけでなく、AUVを目標近くの海域まで運ぶ**運用資源や、海域に到達するまでにかかる時間等に制約**。（例えば遠隔の島しょ部にAUVを展開するには多くの人員が必要となる有人の船舶を運航し数日が必要）
- 地震や海底火山噴火の緊急観測など、有人船舶での**立ち入りが難しい海域における安全な観測・調査が困難**※。  
※観測・調査については、海底資源探査、洋上風力、海底ケーブル敷設、海底パイプライン検査など民生分野への展開においても重要。
- また、AUVによる観測は局所的なものに留まり、広大な排他的経済水域の海面から海底に至る海洋の全ての空間を**常時継続的に観測することは、別途適切な手段がない限り現実的でない**。
- 海上・海面・浅海域に係る情報として、従来必ずしも観測システムに組み入れられることがなかった、一般の船舶が入手可能な情報であって、**海洋状況把握に有益な情報※が民生・公的な利用において未活用**。

※例えば、他の航行船舶（有人・無人）、不審船、違法漁業、漁場、海流、海氷、流木、気象等の海洋情報が考えられる。

- ⇒ 先端的な技術（無人機技術やセンサー技術等）を活用し、**観測・調査・モニタリング能力を拡大**できないか（より広範囲を機動的に、常時継続的に）
- ⇒ 先進的な通信手段により一般の船舶が入手可能な情報を共有するなど、**海洋状況把握への活用を図ることができないか**。

## 海洋観測・調査・モニタリング能力の技術的な拡大（より広範囲の機動的な能力）

### 【考えられる技術】

#### □ AUVの無人・省人による運搬・投入・回収技術

- 2017-18年の国際コンペティションで、無人水上機（ASV）からAUVを自動投入・回収した先端事例があるが（我が国からも産学官連携のTeam KUROSHIOが参加）、近海かつ洋上曳航での展開・回収に留まる。**より広範囲を機動的にカバーし、アクセスできる技術**として無人小型航空機による運搬・投入・回収技術が考えられるのではないか。（特に回収については前例が少なく、一定の試行錯誤が必要と考えられる）

#### □ AUV技術（性能等の向上や我が国としての自律性の確保の観点）

- 国内では1980年代から研究開発が本格化し、2000年頃からAUVを用いた海域試験や海底探査が実施されてきたが、ここ20年で海外企業を中心に商品化が進んでいる。我が国としての**自律性の確保の観点も念頭にした性能の確保・向上、深深度化等**を検討する必要があるのではないか。また、無人小型航空機等を活用した無人・省人化運搬では、**AUVの小型化・軽量化**が必要ではないか。

（参考）内閣府戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）にて、深海AUV複数運用技術、深海ターミナル技術の研究開発を実施中（2018-22年度）

#### □ 海中（非GPS環境）における高精度航法技術

- より高精度・効果的なAUV等による海洋観測・調査・モニタリングには、**GPS電波が届かない海中において自らの位置・速度・姿勢を把握する航法技術**が基盤技術として欠かせないが、現在AUVに搭載されている我が国の航法装置では長期間の活動等に足る精度が得られていない。一方、我が国を含め、国際的に、最先端の量子技術を用いたジャイロスコープ（角速度計）等の研究が進んでおり、我が国の優位性・自律性の確保の観点から、**最先端技術を用いた高精度航法装置の国内における実現**を念頭にした研究開発を進めることが重要ではないか。

## 海洋観測・調査・モニタリング能力の技術的な拡大（常時継続的な能力）

### 【考えられる技術】

#### □ 海面から海底に至る空間の先端センシング技術を用いた観測

- 地震・津波の観測には、観測装置を海底ケーブルで接続した海底観測システムが存在（※）。また、音響センサーが、地殻構造探査、魚群探査及び水温及び流速の計測に利用されている。海洋環境・海況・自然現象・人工現象を含め、より広い範囲で海洋状況を捉えることのできる先端センシング技術や、様々なセンサーの活用により、**経時的に海洋環境を観測できる新たな観測アプローチ**が検討できないか。

（※）日本海溝海底地震津波観測網（S-Net）、地震・津波観測監視システム（DONET）

#### □ 膨大な観測データから特徴量を抽出・解析する／統合的に処理する技術

- 上記の先端センシング技術や様々なセンサーが観測する情報は様々で膨大な情報。省人化のためにも、これらの中から**有用な情報を自動で抽出・解析できる手法**が必要ではないか。また、膨大な観測データを**統合的に処理する技術**も必要になるのではないか。

#### □ 最先端技術を用いた海中における革新的センシング技術

- 量子センサーなど、**地上環境で研究開発が進む先進的なセンシング手法を海中に適用**することなどにより、これまでにない最先端の観測技術が開拓できるのではないか。また、これらについて**世界に先んじて技術開発・実証**を行えば優位性が得られるのではないか。

## 未活用の情報（一般の船舶による情報）の海洋状況把握への活用

### 【考えられる技術】

#### □ 現行のAIS（自動船舶識別システム）を衛星通信等により高度化した民間船舶のデータ共有システム技術

- 民間船舶の情報収集システムとしては自動船舶識別システム（AIS）が運用されており、海上輸送、ロジスティクス、不審船把握等により利用されている。AISを活用した民間船舶情報の収集が有効な手段として考えられるが、現行のAISは、①双方向デジタル通信に対応していない、②利用メリットが少なく小型船舶に普及していない、③衛星を前提としていないため沖合を含む広範囲で活用できていないため、**海洋状況把握利用や、協調航法等のための船舶間通信に課題**がありこのままでは活用できない。これらを**解決する**、衛星VDES（VHS Data Exchange System）といった**次世代システム技術**が必要ではないか。
- AISを高度化した次世代システム技術は黎明期であり、技術確立していないため、**世界に先んじて技術開発・実証**を行えば優位性が得られるのではないか。

経済安全保障重要技術育成プログラムに係る  
研究開発ビジョン検討ワーキンググループ

宇宙・航空領域：宇宙

## 【基本的なニーズ（宇宙空間を活用した情報収集、通信、測位等の各種能力の向上）に係る課題認識※】

※関係省庁・有識者からの事務局ヒアによる。

- 近年、安全保障、防災、民生等、様々な用途で衛星を介した大容量・低遅延でのデータ伝送が求められている。一方、従来の静止軌道の大型通信衛星は地球から約36,000km離れているため、**データ伝送容量に限られる他、遅延が大きい。**
- 衛星の安全保障や経済社会に求められる役割の増大に伴い、従来の電波通信を超える、**よりセキュアな通信が求められる。**
- 周回衛星は地球を約90分で一周する間に10分程度しか地上局と通信が行えないため、**通信のリアルタイム性に欠ける。**
- 現状、衛星リモートセンシングには光学センサー（可視・赤外、熱赤外等）・マイクロ波センサー（合成開口レーダー・放射計等）がそれぞれ利用されているが、**多種多様な情報収集には観測対象、解像度（分解能）、観測頻度（観測幅・回帰日数）等に一定の限界が存在。**

- 新たな低軌道衛星通信ネットワークや先端的なセンサー技術を活用し、**衛星通信・センシング能力の抜本的な強化**を図ることができないか  
（よりセキュアで大容量・低遅延に・より多用途に高頻度・高解像度で）

## 衛星通信・センシング能力の抜本的な強化

### 【考えられる技術】

#### □ 低軌道衛星間光通信技術

- 大容量高速通信のニーズに対応すると共によりセキュアな通信を確保するには、従来の静止軌道大型衛星の電波通信に代わり、**低軌道小型衛星間の光通信の導入が必要**ではないか。国内では1980年代から研究開発が本格化し、1994年（静止衛星－地上局）、2005年（低軌道衛星－静止衛星）及び2006年（低軌道衛星－地上局）にそれぞれ世界初の実証実験に成功し、近年は民間通信会社が事業開発に乗り出すも、現時点に至るまで**低軌道小型衛星間の光通信技術の実証には至っていない**。なお、海外でも官民による研究開発が活発に行われているところ。

#### □ 自動・自律運用可能な衛星コンステレーション・ネットワークシステム技術

- 世界的に、データ伝送容量が大きく、低遅延通信が可能で、地球全体に通信サービスを提供できる、地球低軌道の**通信衛星コンステレーション**に対する期待が高まっているが、これを実現するためには、数多くの衛星の管制、衛星－衛星間及び衛星－地上間の通信リンクの管理、地上局の制御、高速・大容量でのデータ処理・データ伝送などを自動・自律的に行える、**衛星コンステレーション・ネットワークシステム技術**を確立する必要があるのではないか。

#### □ 高性能小型衛星技術

- 低軌道衛星間光通信が行える**高度な姿勢制御能力等を有する安価・高性能な小型衛星及び部品・コンポーネント技術が必要**ではないか。

#### □ 小型かつ高感度の多波長赤外線センサー技術

- 我が国は多波長赤外線データの利用研究が各分野において先行しており、既存の実証施策（※）からは、重要鉱物・エネルギー資源の探査、海洋状況把握、土砂災害リスクの評価等における**多波長データの高い利用ポテンシャルと優位性獲得の可能性**が示されている。他方、多目的利用には各種分解能（空間分解能・波長分解能・輝度分解能）や観測頻度（観測幅・回帰日数）などの観測性能の高度化が課題。小型衛星やドローンに搭載して**観測頻度向上を図る事ができる小型かつ高感度の多波長センサー技術を獲得する必要がある**のではないか。

（※）宇宙実証用ハイパースペクトルセンサHISUI（ヒスイ）：21年4月に国際宇宙ステーションで定常運用を開始した185バンドの光学センサー。世界最高レベルの波長分解能、輝度分解能を有する。現在、様々な分野でデータ利用実証中。

経済安全保障重要技術育成プログラムに係る  
研究開発ビジョン検討ワーキンググループ

宇宙・航空領域：航空

### 【課題としてのニーズ（無人航空機の利活用拡大、航空の安全性・利便性）に係る課題認識※】

※関係省庁・有識者からの事務局ヒアによる。

- 無人航空機（ドローン等）の活用が進み、今後も空の産業革命が期待。様々な主体が多種多様で多くの無人航空機を利活用するようになることが想定される。公的利用において**災害・緊急時**をはじめ利活用の広がりが想定される他、民生利用でも**物流、輸送、検査など様々な利活用**が想定。無人航空機の**安全で利便性の高い利活用を確保する必要**。また、無人航空機や関連する技術について**海外企業が商品化**を進めている。

- 先端的な技術（ロボット工学、情報通信技術、センサー技術等）により、安全性・利便性を確保しつつ、**民生利用のみならず公的利用における無人航空機の利活用の拡大**を促進できないか。
- また、先進的な領域において**我が国の技術的な優位性につながり得る技術を開拓**をしていくことも重要ではないか。

## 民生利用のみならず公的利用における無人航空機の利活用の拡大

### 【考えられる技術】

#### □ 災害・緊急時等に活用可能な長時間・長距離等の飛行を可能とする小型無人機

- マルチコプターに代表されるドローン等の小型無人機の活用が進むが、遠隔の被災地などでの迅速な活用には、より**長時間・長距離（あるいは広範囲）の飛行や悪天候対応などの面で課題**がある。この点で、翼による飛行が可能な**垂直離着（VTOL）機や固定翼機にポテンシャル**が見出せるのではないかと。また、我が国としての**自律性の確保も念頭**にした技術を検討する必要があるのではないかと。

（参考）NEDO安全安心なドローン基盤技術開発（2020-21年度）にて政府調達向けを想定した標準機体設計・開発等が行われ、その成果として当該マルチコプター機体の商用化が発表（2021年12月）。なお、小型無人のVTOL機について、我が国研究機関においてプロトタイプ機による研究が行われている。

#### □ 災害・緊急時等に活用可能な小型無人機を含む運航安全管理技術

- 災害時等では、多数の航空機が当該地域に集まるが、持ち込み型端末を多種多様な航空機に予め搭載することで、航空機を安全かつ効率的に運用するシステム技術が近年使われている（※）。このシステムは有人機を対象としているが、今後、小型無人機の活用が拡大する中で、ある地域で、**有人機と無人機が連携し、情報収集、情報共有等を安全かつ効率的に行えるような、無人機を含む運航安全管理システム技術が重要となるのではないかと。**

（※）我が国で開発・運用がなされている災害救援航空機情報共有ネットワーク（D-NET）。  
なお、従前、東日本大震災では最大で1日に300機以上のヘリコプターが救援活動に従事したとされている。

#### □ 小型無人機との信頼性の高い情報通信技術

- 小型無人機の制御、テレメトリー、情報伝送等においては、主に無線通信が用いられているが、長距離・広範囲利用など多様な用途への活用を想定した場合、利用可能範囲、電波環境影響、送信出力等に課題がある。今後、災害・緊急時をはじめ利活用が拡大する際、**小型無人機との間で、途絶しないセキュアな通信がより求められるのではないかと。**次世代高速通信技術や次世代衛星通信技術の活用を含め、**小型無人機に搭載可能なサイズ・重量で、高速・大容量通信・低遅延かつ低コストの通信技術が必要ではないかと。**

## 先進的な領域における優位性につながり得る技術の開拓(1/2)

### 【考えられる技術】

#### □ 小型無人機の自律制御・分散制御

- ドローンといった小型無人機の目視外・第三者上空の自律飛行であって、未知環境や複雑な環境で、情報収集や救援支援等のある任務を遂行するには、高度な自律制御が必要となり、ハードウェア的要素だけでなく、**AIを含め、プロトコルやアルゴリズムといったソフトウェア的要素も重要**になってくると考えられる。(※1)
- また、自律分散制御(※2)の研究はロボット分野を中心に取り組まれているが、これまで民生分野での目立った実利用はなされていない。一方、ドローンへの応用では、どのような利活用が考えられるか概念検討の段階と言えるが、米国国防高等研究計画局(DARPA)でドローンのスウォームの研究開発例があるほか、農業分野などにおけるマッピング技術の研究開発例もある。こちらについても、**ソフトウェア的要素が重要**と考えられる。
- これらを踏まえ、**小型無人機の自律制御・分散制御という先進的な領域**において、我が国におけるソフトウェア的技術要素の知見の蓄積や人材層の拡大も念頭に、様々なアプローチによる複数の研究チームでの研究開発推進が考えられるのではないかと。その際、災害対応や救援活動といった公的利用ニーズを踏まえた研究チーム向けの任務設定といった手法も考えられるのではないかと。

(※1) その前提として、GNSS(全球測位衛星システム)による自己位置測定だけでなく、衛星信号が取得できない場所や障害物のある場所でのSLAM(自己位置推定と環境地図作成)が必要とされる。

(※2) ここでは、群制御のうち、ドローン各機に事前に入力された個々の飛行情報に基づき飛行する集中制御や、事前に入力されたパターンに基づき飛行するパターン制御でなく、自律的かつ分散制御を行うことを言う。状況判断機能を搭載することで、個々のドローンが状況の変化を感知し、それぞれが協調しながら、自律的に飛行を制御することにより、群行動パターン自体が状況に応じ最適化される。また、複数のドローン群同士がそれぞれ連携しながら最適の群編成を構成する。

#### □ 空域の安全性を高める小型無人機等の検知技術

- 様々な主体による多種多様で多くの小型無人機の利活用が拡大するに伴い、**空域の安全性を高めるための小型無人機等の検知技術が重要になると考えられる**。現在、ドローンが通信用に用いる無線通信や、カメラ・レーダー・ライダーといったSLAMに用いられるセンサーが検知技術として知られ、海外企業を中心にシステムとして技術の商用化も進んでいる。
- 一方、**センシング・イメージングの要素技術や革新的手法**については、まだ先進的な領域があると考えられ、我が国の技術的な優位性の確保の観点から、技術を開拓することができるのではないかと。

### 先進的な領域における優位性につながり得る技術の開拓(2/2)

#### 【考えられる技術】

##### □ 航空安全等に資する小型無人機の飛行経路の風況観測技術

- 我が国の独自技術として、**風況も観測可能な先進ライダー技術**が存在（※）。このような技術は、風況の影響を受けやすい小型無人機にとって重要と考えられ、**飛行空域全般の風況観測のみならず、小型無人機の飛行が予測される経路の詳細な風況や乱気流の監視**や、ヘリコプターといった**有人機と小型無人機の連携運用時における乱気流等の監視**にも活用可能であり、我が国の技術的な優位性の確保の観点から、技術の高度化を進めることが重要ではないか。

（※）ドップラーライダー技術であり、レーザーの対象物からの反射の観測データから様々なノイズを除去し微弱なシグナルを抽出するソフトウェア技術がコア技術。風況は、大気中のチリからの微弱な反射光のみを抽出して観測。出力の小さいレーザーでも微弱なシグナルを抽出可能であることから、装置の小型化、低コスト化にもポテンシャルが存在。

## 航空領域（２）：取組を強化すべき今後の課題に関する背景等

### 【課題としてのニーズ（航空産業の拡大、優位技術の維持）に係る課題認識※】

※関係省庁・有識者からの事務局ヒアによる。

- 航空輸送は経済産業活動や国民生活を支える基盤であり、安全性、信頼性、環境適合性、経済性等の社会共通の要求への対応が迫られた上で、「より静か」で「より速く遠くへ」移動可能な航空機性能が期待されると共に、複雑化するシステムや製品の開発効率や性能を革新的に高めるデジタル技術の活用が国際競争力の獲得のための重要な要素となっている。こうした技術開発に取り残されれば、超音速旅客機を含む世界の航空機開発・製造の一端を担うことができなくなるおそれがある。
- 「より静か」：陸域を含む超音速飛行を可能とする上で、ソニックブームの騒音の低減は重要な社会要求であるが、我が国が有する騒音低減技術は、国際的な騒音基準の策定において参照されるに必要な技術実証には至っていない。
- 「より速く遠くへ」：現在の構造材料（Ni基耐熱合金等）では、耐熱性・重量の観点から航空機エンジンの燃費・性能向上に限界がある。さらに、将来的に航空宇宙業界にハイインパクトを与える可能性が高く、世界的にも関心の高い極超音速エンジン技術は、航空輸送の「速さを追求」する最先端の技術であるが故に世界でも発展途上の技術である。
- 「デジタル技術」：航空機開発は、部品点数が300万点（自動車の約100倍）に及ぶなど極めて高い複雑性を有し、高度な安全認証試験を要求されること等から、デジタル技術活用の効果が大きく期待できる分野であり、国際競争力を確保する側面から、国際的にも注目されている。

- 航空輸送に求められる性能向上を図る、航空機エンジンの先進材料や将来的な超音速・極超音速技術の獲得を見据えた要素技術と言った、我が国航空分野における先端的な優位技術の確保が重要ではないか
- また、デジタル技術を活用し、安全認証までを含めた航空機の開発製造効率の飛躍的な向上を図ることができないか

## 我が国航空分野における先端的な優位技術の確保（先進材料や設計技術）

### 【考えられる技術】

#### □ 航空機エンジン向け先進材料技術（高耐熱・軽量の複合材製造技術）

- 現在、航空機エンジンの高温部品は超合金材料を用いたものが主流であるが、より熱効率が高くエンジン効率の良い航空機の実現のため、より耐熱温度が高く（現在主流のニッケル基超合金の最高耐熱温度は1100℃程度）、かつ重量の軽減が図れる**次世代構造材料製造技術**を獲得すべきではないか。

#### □ 超音速要素技術（低騒音超音速機体設計技術）

- ソニックブームが到達する全域での低騒音化が可能で、どのような機体形状でも適用可能な我が国独自の概念設計（全機口バスト低ブーム設計）の技術的成立性を世界に先駆けて獲得しており、陸域超音速飛行の実現に不可欠な技術を保有している。他方、国際的な騒音基準の策定において参照されるに必要な技術実証には至っていないため、これを実証し、**ソニックブームの低減と巡航性能を両立可能な機体設計技術**を確立すべきでないか

#### □ 極超音速要素技術（幅広い作動域を有する極超音速エンジン設計技術）

- 我が国ではスクラムジェットエンジンに関するジェット燃料適用、冷却等の要素技術の研究開発を行っているが、その開発は限定的である。音速を超える速度領域において、**幅広い作動域を有するエンジンを実現するための要素技術**を獲得すべきではないか。

### 我が国航空分野における先端的な優位技術の確保（デジタル技術と航空機開発製造）

#### 【考えられる技術】

#### □ デジタル技術を用いた航空機開発製造プロセス高度化（デジタルモデルに基づくシステムエンジニアリング・安全認証技術）

- 従来の航空機開発は、空気力学など、航空機にかかる個別工学分野毎にシミュレーションを重ね、その技術を蓄積してきた。他方、航空機のみならず製造業のシステムエンジニアリングはデジタルモデルに基づき、設計・製造・検証・妥当性確認（認証）を包括的・体系的に行う手法（MBSE:モデルベースシステムズエンジニアリング）が主流となりつつある。我が国航空機の国際競争力の確保・維持のためには、我が国が有する航空機安全認証にかかる最新の経験・実データを活用しつつ、国際協力も視野に入れながら、**航空機設計へのMBSE手法の適用、及び安全認証手法の獲得が必要**なのではないか。

経済安全保障重要技術育成プログラムに係る  
研究開発ビジョン検討ワーキンググループ  
領域横断・サイバー空間、バイオ領域：サイバー空間

# サイバー空間関連：取組を強化すべき今後の課題に関する背景等

## 【背景や一般的な課題認識】

- **サイバー空間の「公共空間化」**が進展し、サイバー空間において提供される多様なサービスが複雑化するに伴いサイバー空間内や**サイバーとフィジカルの垣根を超えた**主体間の「相互連関・連鎖性」が一層深化。「自由、公正かつ安全なサイバー空間」を確保するためにはこれらを取りまく**不確実性の変容・増大によって生じるリスク**を適切に把握した上で対応していくことが必要。
- **サイバーセキュリティ研究分野**は、脅威に関する情報やユーザー等のニーズを踏まえ、実践的な研究開発を進めることが非常に重要な分野。我が国においてその基盤となる**研究開発の国際競争力の強化と産学官エコシステムの構築**に取り組む必要。また、デジタル技術の進展に応じ、中長期的な視点から技術トレンドを捉えた取組みを推進していくことが重要。特に、**AI技術・量子技術をはじめとする先端技術の進展**を見据えた対応が求められる。
- 近年、民生のみならず公的分野における**クラウドサービスの利用拡大**や**複雑かつグローバルなサプライチェーン**を経由する製品・サービスの拡大・浸透、IoT機器の利用拡大やAI技術の様々なシステムへの活用などにより、インシデントが発生した場合の**経済社会活動への影響は、より広範に、多様な主体・場面に及ぶおそれ**。

※サイバーセキュリティ戦略（令和3年9月28日閣議決定）より引用

# 個別の課題認識と考えられる技術：AIセキュリティに係る知識・技術体系

## 【課題認識】

- 民生部門・公的部門双方において**人工知能（AI）活用が広がり**、広範な産業領域や社会インフラなどでAI技術は大きな影響を与えている。一方で、AIそのものを守るセキュリティ（**Security for AI**）に関しては、**AIのセキュリティ面での脆弱性がどのようなものか**（※）国際的にもまだ**十分に理解されていない**と考えられる。海外では、例えば機械学習の誤認識に係る研究や防御に関する学術面での研究が多くなっている。

（※）今後高まり得るリスクとして、AIに対する不正アクセスにより、秘匿性の高い学習データが復元されて漏えいする、意図的にAIの誤認識を誘発し機能不全に陥れる、AIアルゴリズムが窃盗・改ざんされることでAIの判断が意図的にゆがめられてしまう等が考えられる。

- AIを活用したサイバーセキュリティ対策（**AI for Security**）に関しては、実際にAIを活用したセキュリティ製品やサービスの**商用化が進んでいる**。一方で、**攻撃そのものにAI技術を活用した新たな攻撃手法が広がる**など、変化が大きい状況。

（参考）なお、上記以外に、AIの信頼性の向上に関して、AI戦略2022（令和4年4月）において、説明可能なAI（Explainable AI）など責任あるAIの実現に向けた取組が具体目標として挙げられている。

## 【考えられる技術】

### □ AIセキュリティに係る知識・技術体系

- AIとセキュリティの境界領域がゆえに研究者・技術者のコミュニティが十分でないと考えられるところ、我が国においてAIセキュリティに係るリスクが今後顕在化した際に、自らの技術力で課題の理解・解決ができるよう、**産学官において必要な知見蓄積や、知識・技術体系の整理・獲得**が必要ではないか。その際、人材層の拡大も念頭に、様々なアプローチによる複数の研究チームでの知見の共有を含めた研究開発推進が重要ではないか。
  - ▶（Security for AI）例えば、機械学習における機密性・完全性・可用性の考え方を整理しつつ、機械学習が扱うデータや訓練済みモデルの保護、敵対的サンプルやポイズニング攻撃など悪意のある入力検知・無毒化、不正を受けた場合にも利用可能な状態を維持するといった防御技術等の研究開発を推進できるのではないか。
  - ▶（AI for Security）例えば、具体のユースケースを基にした産学官の連携体制で、いわゆるオフENSIBセキュリティ（攻撃者の視点から知見を得る）研究のアプローチも取り入れ、攻撃者が高度に機械学習を利用することで生じる脅威に対する研究等を推進できるのではないか。また、仮想のシステムに対して攻撃・防御の模擬戦を行うといった手法も考えられるのではないか。

# 個別の課題認識と考えられる技術：サイバー分野における不正機能検証技術

## 【課題認識】

- サイバー空間を構成する**ICT機器・システムのサプライチェーンの複雑化やグローバル化**、また、オープンAPI (Application Programming Interface) やOSS (Open Source Software) の普及など、サイバー分野におけるサプライチェーンを取り巻く環境は一層複雑化し、サプライチェーンの過程で**不正機能等が埋め込まれるリスク**など、**サプライチェーン・リスクが顕在化**している。
- 国のサイバーセキュリティ研究開発戦略（令和3年5月改訂）でも、**他国に容易に依存できない技術もあり得る**ため、産学官連携により、重点的に強化を図るべき研究領域とされている。不正機能につながり得る未知の脆弱性等を検証する技術が存在するものの、**技術の体系化までは必ずしもなされていない**。

## 【考えられる技術】

### □ 不正機能検証技術（ファームウェア・ソフトウェア）

- ICT機器・システムを構成するファームウェア・ソフトウェアにおいてバックドア等の不正機能が仕込まれていないかを検証する観点から、**未知の脆弱性の検証やその不正な意図性の評価を試みる技術の開発**が必要ではないか。その際、現在産学官に人材が散在している可能性があることから、産学官の複数の参画チーム間での**データ・知見共有・蓄積を含め技術体系の整理と高度化**を図る手法が重要ではないか。また、上記の知見やデータを活用しつつ**不正機能を効率的・安定的に検出できるツール**や、革新的な手法に基づく**検証ツール等の研究開発**が視野に入るのではないか。

### □ 不正機能検証技術（ハードウェア）

- 半導体・電子機器等のハードウェアに本来期待される機能以外の不正機能が混入していないかを、機器をブラックボックス的に保ったまま検証し不正機能を特定することは極めて困難。そこで不正機能の特定や排除が可能となるよう、半導体・電子機器等のハードウェアを詳細情報に基づく**ホワイトボックス的な検証を行うために必要となる要素技術の特定や技術開発**を行い、**検証基盤を確立**することが必要ではないか。

# 個別の課題認識と考えられる技術：ハイブリッドクラウド利用基盤技術

## 【課題認識】

- サイバーセキュリティや機器の信頼性を確保しつつ、クラウドサービスの活用を進めていくため、政府が取り扱う情報の機密性等に応じて、**パブリッククラウド**と**プライベートクラウド**を組み合わせる、いわゆる**ハイブリッドクラウドの利用の促進**が謳われている。(※)

(※) デジタル社会の実現に向けた重点計画、令和4年6月。なお、プライベートクラウドは、個別の設計が可能のため、オープンアーキテクチャをベースとしたホワイトボックスで構成された信頼できるクラウドが想定できることに對し、パブリッククラウドは、必ずしもホワイトボックスではないクラウドが想定される。

- 各主体が構築する**情報システム**において、利便性の高いパブリッククラウド利用と、我が国における自律性の確保の観点等も念頭に置いたプライベートクラウド利用、オンプレミス・システム利用という、**異なるセキュリティ領域**を必要に応じて行き来して情報処理やデータ利活用ができるような、**データ中心のセキュリティ**を確保していくことが重要と考えられる。

## 【考えられる技術】

### □ ハイブリッドクラウド利用基盤技術

- オンプレミス、プライベートクラウド、パブリッククラウドとの間で、**重要度に応じてデータを適切に保護しつつ、データ連携を可能とする技術やネットワークの自動化技術等**が必要ではないか。その際、安全・低コスト・自動で行う技術として、**クラウド間のデータの中継やアクセス制御を行うハブとしてソフトウェアスタック**(※)の**開発**が考えられるのではないか。

(※) 互いに相互運用性のあるソフトウェアを積み重ね、全体として一つのシステムや機能を実現するもの

- なお、ソフトウェアレベルで運用者等にとってのホワイトボックスなクラウドを構築できたとしても、**ハードウェアの信頼性をホワイトボックス的な検証により確保することも必要**と考えられるため、クラウドに用いられる**半導体・電子機器等のハードウェアの不正機能検証技術も併せて推進することが重要**ではないか。

経済安全保障重要技術育成プログラムに係る  
研究開発ビジョン検討ワーキンググループ

領域横断・サイバー空間、バイオ領域：領域横断、バイオ

# 個別の課題認識と考えられる技術： ハイパワーを要するモビリティ等に搭載可能な次世代蓄電池技術

## 【課題認識】

- カーボンニュートラルを背景に社会全体で電化が求められる中で、モビリティ分野の電動化に資する**蓄電池の開発と生産は我が国にとって戦略的に重要**。また、**領域を問わず無人化等の課題解決に重要な要素**。
- 中でも、大型重機・建機、船舶等のハイパワーを要する**大型モビリティには電動化の大きなポテンシャル**があり、市場の拡大も見込まれる。電動化の核となる蓄電池については、**高い安全性・耐久性と、過酷な温度域における大電流動作といった高い性能**が求められるが、これらを要求全てを満たす性能の蓄電池は存在せず、大型モビリティ等の電動化のボトルネックとなっている。

## 【考えられる技術】

### □ ハイパワーを要するモビリティ等に搭載可能な次世代蓄電池技術

- **より広い温度範囲での急速充電、長寿命、高安全性等の特性を有する次世代蓄電池**により、大型モビリティや高稼働が求められるモビリティなど、より広範囲で過酷な使用環境での利用を想定した新たな需要を開拓し、民生分野・公的分野の利用につなげていくことが重要ではないか。例えば、リチウムイオン電池の負極に従来とは異なる材料である酸化物負極（※）を用いてハイパワーと信頼性（寿命・安全性）に優れたものとする、電池の電解質に不燃の水溶液を用いると言った試みについて、**我が国が優位性を確保し得る技術として一部企業で取組が進んでおり**、このような技術を用いて、**次世代蓄電池技術を開拓**できるのではないか。

（※）現行リチウムイオン電池の負極には炭素が用いられることが多いが、金属リチウムが析出するリスクがあり、発火の可能性を低減するための措置が別途必要となる。一方、チタン酸リチウム（LTO）やニオブチタン酸化物（NTO）と言った酸化物では本質的に当該析出リスクがなくその点での安全性に優れた上で、ハイパワー等の一定の特性を引き出すことが可能と考えられる。

# 個別の課題認識と考えられる技術：

## 宇宙線を用いた革新的測位・構造物イメージング等応用技術

### 【課題認識】

- **宇宙線ミュオン**は、宇宙から飛来する高エネルギーの素粒子が大気と衝突することにより生成される自然の素粒子（量子ビーム）の一つであり、**自然由来**でありながら非常に高いエネルギーを持つために**高い透過能を有する**。この特性を利用し、これまで国内外において、地盤・地質、火山、ピラミッドといった地下・大型物体**内部の可視化（構造物イメージング）**や海面潮位変化の計測を行う研究等が進んでいる（※1）。さらに、地下や海底での**測位・位置推定、時刻同期**や通信にミュオンを活用するという技術的概念も報告されている。
- 災害予測等にとって、地下・大型物体**内部の可視化**は重要な手段だが、従来の波動を使った**物理探査や放射線を使う場合であっても限界**が存在。また、地下や海底のような**非GPS環境下での測位・位置推定**や**高精度の時刻同期にかかる技術**開発は、近年米国国防高等研究計画局（DARPA）が力を入れて取り組む等（※2）（※3）、**極限環境を含む様々なモビリティの自律化・無人化における重要な要素技術**と捉えられる。
- 我が国はミュオンを含む素粒子物理学に人材を含め強みがあり、構造物イメージング等の研究を先導した実績があるが、欧米において大型の各種研究開発が増えている。

（※1）物体を透過したミュオンを検出器で検出し処理することにより構造物イメージング等を行う。国内では例えば火山の内部のマグマの可視化により噴火予測技術の研究等が行われている。

（※2）DARPA Subterranean Challengeでは地下のトンネルや洞窟を動きまわり、マッピングする能力をもつロボット（物理・シミュレーション）の能力を競う競技大会が開催された（2021年）。また、時刻同期に関しては、Robust Optical Clock Network（ROCKN）が本年開始され、サイズ等を抑えつつ、GPS衛星の原子時計よりも優れた時刻同期精度とホールドオーバー（GPS信号を失っても正確な時刻を保持できる期間）の実現を目指している。

（※3）ミュオンは透過性に加え指向性が高く、妨害や盗聴は困難という特性があり、位置推定、時刻同期、通信での活用における利点となり得る。

### 【考えられる技術】

#### □ 宇宙線を用いた革新的測位・構造物イメージング等応用技術

- 宇宙線ミュオンは**自然の素粒子**であり、**放射線のような特別な防護が不要で、高い透過能を有する事ができる、かつ検出の容易な量子ビーム**であり、多様なポテンシャルを有している。我が国大学や国研において空洞調査や火山体内部のラジオグラフィ、非破壊元素分析等において**一定の実績を上げてきているが**、構造物イメージングの高度化が模索されているほか、非GPS環境下での**測位・位置推定（※）**や**高精度の時刻同期等については技術的概念が提唱されている段階**。我が国における関係研究分野の人材や基礎研究のポテンシャルに鑑み、ミュオンを用いた**革新的応用技術の可能性を開拓・吟味し**、応用技術に優位性や有用性が見い出される場合は**民生・公的利用ユースケースを念頭に置いた技術的概念の実証**に進むといったことが考えられるのではない。

（※）ミュオンを用いた非GPS環境下での測位・位置推定：地上（海上）の3～4つのレファレンス点にミュオン検知器を置き、測位・位置推定を行いたい地下（海底）の検知器と時刻を同期。ミュオンが通過した時差からレファレンス点との距離を求め、3つのレファレンス点から地中（海底）の相対位置が分かるというもの。ミュオンは1秒間に1平米に100個程度の飛来であることから通過したミュオンが同一のものかの判別は容易である。

# 個別の課題認識と考えられる技術： 生体分子シーケンサー等の先端研究分析機器・技術

## 【課題認識】

- **先端研究分析機器・技術は、先端研究そのものの優位性や自律的な発展をけん引し、**様々な現場での分析等に用いられるとともに、先端研究分析機器・技術によって解析されたデータやそのデータの蓄積が、各国の産業競争力に直結。
- **DNAやRNA、ペプチドなどの生体分子情報は、**がんや難病、個別化医療等の創薬・医療分野や、微生物を利用したバイオものづくりなど、研究・医療・産業に必要不可欠。現在ゲノム解析を主に担うシーケンサーは、その海外依存度が高まっているとともに、海外製を含め既存の手法のままでは多種類の生体分子情報の読み取りは不可能。このため、我が国独自の革新的技術の開拓が、優位性・不可欠性につながる可能性。
- また、同様の技術は、産業利用や研究利用にとどまらず、**パンデミック等への脅威**や化学・生物物質等によるテロ等の脅威への**対応**にも資する。このため、当該技術を我が国として自律的に開発・保有することも重要。

## 【考えられる技術】

### □ 生体分子シーケンサー等の先端研究分析機器・技術

- 当該技術により、既存シーケンサーでは読み取り困難な、DNAやRNAの**修飾（遺伝子の発現に影響する構造の付加）**や、**アミノ酸配列、糖鎖配列**まで解読可能にすることは、エピゲノム解析やプロテオミクス解析等（※1）で我が国の優位性につながるのではないかと。さらに、当該技術は、増加の一途をたどる様々なデータをDNAに変換し保存・読み取りを行う**DNAデータストレージ技術**（※2）の優位性ある要素技術にもなり得るのではないかと。
- 現在ゲノム解析に使われている主なシーケンサーは海外製品の寡占状態にある一方、長い領域の解読（**ロングリード**）が可能な最先端の**シーケンス技術は世界でも発展途上の技術**である。ますます高まりつつある**遺伝情報・ゲノム情報等の活用ポテンシャルや情報管理**の観点から、当該技術を開発・保有し、我が国の優位性あるいはそれにつながり得る自律性を**獲得することを検討すべき**ではないかと。
- これまでにない革新的な技術提案から、一定程度の技術実証のための研究開発まで、広く提案をFS的に募った上で、研究や技術の成熟度、実現可能性等に合わせた**柔軟な研究開発推進を検討**することが考えられるのではないかと。

（※1）世界的にゲノム解析が進む中で、遺伝子発現に影響するエピゲノムの解析（修飾核酸）、疾患等におけるタンパク質発現レベルのプロテオミクス解析（アミノ酸配列）などでの革新的な解析技術が求められている。生体分子の解析技術は、生体分子を模倣した薬剤探索研究（創薬）での応用も期待される。

（※2）日々膨大なデジタルデータが産生されており、その保存のために大規模なデータセンターが運用されている。近年、海外のIT企業を中心にデジタルデータをDNA配列に変換し、省電力・大容量・長期安定性が期待できる保存技術（DNAデータストレージ）への投資開発が活発化している。DNA配列の読み取りは重要な要素技術であり、データの暗号化・解読技術にの基盤となっている。天然の核酸だけでなく、人工核酸の読み取りが可能となれば、暗号化・解読技術においても海外の技術に対して優位性を確保できる。