

令和5年度

安全・安心に関するシンクタンク機能育成事業

事業項目②：国内外の技術動向調査

最終報告書

令和6年（2024年）2月29日

慶應義塾大学

グローバルリサーチインスティテュート（KGRI）

◆ 本報告書利用時の注意

無断複製等禁止

本報告書は、内閣府の科学技術振興調査等委託費による委託業務として、学校法人慶應義塾が実施した令和5年度「安全・安心に関するシンクタンク機能育成事業（事業項目②：国内外の技術動向調査）」の成果を取りまとめたものです。

従って、本報告書の著作権は、内閣府に帰属しており、本報告書の全部又は一部の無断複製等の行為は、法律で認められたときを除き、著作権の侵害にあたるので、これらの利用行為を行うときは、内閣府の承認手続きが必要です。

免責事項

本報告書は、慶應義塾大学グローバルリサーチインスティテュート（Keio University Global Research Institute: KGRI）及びKGRIに所属する執筆者が妥当と考える解釈・評価・推論を記載したものです。本報告書の記載内容（解釈・評価・推論、事実関係を含むがこれに限りません。）に基づく意思決定とそれによって生じる損害・損失等について、学校法人慶應義塾を含むいかなる法人や個人も一切の責任を負いません。

◆ 調査実施体制

本調査は、KGRI内の「国内外の技術動向調査グループ」が実施しました。メンバーは以下の通りです。

- 廣瀬 陽子（KGRI 副所長、総合政策学部教授）
- 土屋 大洋（政策・メディア研究科教授）
- 長岡 佐知（KGRI 特任准教授）
- 川口 貴久（KGRI 特任准教授）
- 吉田 優一（KGRI 臨時職員）
- 高木 裕介（KGRI 臨時職員）
- 本田 義明（KGRI 臨時職員）
- 石川 雪子（KGRI 臨時職員）

目次

目次.....	i
図表目次の一覧.....	iii
1. 調査の概要.....	1
1-1. 調査の概要.....	1
1-1-1. サイバーセキュリティ.....	1
1-1-2. 食料安全保障.....	2
1-2. 調査の手法.....	3
2. 調査結果：技術評価の視点.....	6
2-1. 全般.....	6
2-1-A. 技術そのものの性質.....	8
2-1-B. 技術の成熟度・実装までの時間軸.....	9
2-1-C. 技術がもたらすインパクト.....	13
2-1-D. ニーズサイドからの優先度.....	15
2-2. サイバーセキュリティ.....	18
2-2-1. スキル・ノウハウ.....	18
2-2-2. 脅威対策のコンセプト.....	18
2-2-3. 具体的な戦術・技術・手順（TTPs）やアクションとの紐づけ.....	19
2-3. 食料安全保障.....	20
2-3-1. 全体像整理.....	20
2-3-2. 個別の評価軸（例：代替タンパク等の新規の食用生産物）.....	22
3. 調査結果：技術評価のプロセス・体制.....	23
3-1. 技術評価のプロセス・体制全般に係る論点・留意点.....	24
3-2. 技術評価のプロセス・体制の各論.....	26
3-2-1. 情報収集（技術動向の把握・探索的調査）.....	28
3-2-1-1. 公開情報の収集.....	28
3-2-1-2. 非公開情報の収集.....	29
3-2-2. 解析・分析（重要度評価・絞り込み）.....	29
3-2-3. 人材育成（必要な体制・要員・ケイパビリティ）.....	30
3-2-4. ネットワーク構築.....	31
3-3. サイバーセキュリティと食料安全保障の個別の留意点.....	32
3-3-1. サイバーセキュリティ.....	32
3-3-2. 食料安全保障.....	32
4. 「安全・安心に関するシンクタンク」への提案事項.....	34

全般：シンクタンクに期待される機能	34
4-1. シンクタンクにおける技術評価の位置付け・基本的な考え方	35
4-1-1. 「技術以外のアプローチによる課題解決」への留意	35
4-1-2. 技術評価 = インテリジェンス活動	35
4-2. シンクタンクにおける技術評価のプロセス	37
4-3. シンクタンクにおける技術評価の体制	38
4-4. シンクタンクにおける技術評価の観点と留意点	41
4-4-1. 「ロングリスト」「ショートリスト」作成時で異なる評価の観点	41
4-4-2. 「C. 技術がもたらすインパクト」：経済安全保障上のインパクト評価を重視	42
参考文献一覧	43
別紙1 技術評価の視点の例	46
別紙2 シーズ技術や注目されている技術の例	52
サイバーセキュリティ	52
食料安全保障	55
先端技術全般	58

図表目次の一覧

図 1	本調査の手法（イメージ）	3
図 2	技術評価の関係性イメージ	6
図 3	これまでの GPT	8
図 4	ガートナー社の「ハイプ・サイクル」（2023 年 8 月現在）	11
図 5	ガートナー社のハイプ・サイクルの構成要素と技術ライフサイクル	12
図 6	重要技術分野 44 項目の先導国と専有リスク	17
図 7	AMITT/DISARM Red Team Framework による整理（攻撃者・脅威が用いた影響工作の TTPs）	19
図 8	「食料安全保障」の構成要素に関する他の考え方	21
図 9	安全・安心に関するシンクタンクで期待されるインテリジェンスサイクル	36
図 10	安全・安心に関するシンクタンクにおける技術評価プロセス（案）	37
表 1	インタビュー・研究会等の分野別対象数	4
表 2	調査の観点と手法との関係	5
表 3	技術評価の分類・概要・評価の視点（例）	7
表 4	米 NASA の TRL 定義	9
表 5	TRL に紐づく EIC の技術投資スキーム	9
表 6	豪 RAND の技術実現の時間枠	10
表 7	ガートナー社のハイプ・サイクルと技術ライフサイクル	12
表 8	豪 ASPI による「技術の寡占リスク」レーティング	16
表 9	「食料安全保障」の構成要素と関連技術	20
表 10	国内生産に資する技術の分類と具体例	21
表 11	代替タンパクや微生物利用食品等の新規食用生産物関連技術の評価の視点	22
表 12	技術評価のプロセス・体制の各論：主な調査結果と示唆	26
表 13	技術評価を行うシンクタンクに期待される内部人材とその要件	39
表 14	技術評価を行うシンクタンクが外部から補完すべき専門的人材とその要件	40
表 15	インテリジェンスサイクルにおける各人材の役割（案）	40
表 16	「ロングリスト」「ショートリスト」の概要と評価軸の構成要素	41
表 17	「経済安全保障上のインパクト」のより具体的な観点	42

1. 調査の概要

1-1. 調査の概要

「事業項目②：国内外の技術動向調査」（以下、「本調査」という）は、業務仕様（ただし、内閣府や各種会議体における指摘や合意を踏まえて修正）に基づき、将来、設立予定の「安全・安心に関するシンクタンク」に関する準備・研究活動を行うものである。本調査の目的は、技術評価のフレームワーク（評価の観点やプロセス・体制）を検討・提案することである。

本調査では新興技術全般に適用可能なフレームワークを構築するとともに、具体的な技術領域として、サイバーセキュリティと食料安全保障をとりあげ、当該領域における技術評価の特殊性や留意点を明らかにする。本調査では、「サイバーセキュリティ」及び「食料安全保障」を以下の通り定義し、調査における焦点を設定し、具体的な重要技術（例）を想定した。

1-1-1. サイバーセキュリティ

<定義>

データ、アルゴリズム、システム等の電磁的な情報の機密性（confidentiality: C）、完全性（integrity: I）、可用性（availability: A）を一定水準以上で維持すること¹。

<焦点>

経済安全保障の観点から、本報告書では国家・社会全体での電磁的な情報の C.I.A.を一定水準以上で維持すること、サイバー国家安全保障に焦点を当てる。

<当該領域で解決すべき課題（例）>

重要インフラのサイバーセキュリティの防衛、政府や企業が保有する先端技術・機密情報の防護、大規模な AI モデル関連の完全性の維持、偽情報流布による社会混乱 等。

<具体的な重要技術（例）>

経済安全保障重要技術育成プログラム（K Program）において支援対象に決定したサイバーセキュリティ関連の重要技術は以下の通り。

- AI セキュリティに係る知識・技術体系
- 不正機能検証技術（ファームウェア・ソフト／ハードウェア）
- ハイブリッドクラウド利用基盤技術

¹ 情報セキュリティマネジメントシステムに関する国際規格（ISO/IEC 27001）を基に定義。

- 先進的サイバー防御機能・分析能力の強化
 - サイバー空間の状況把握・防御技術
 - セキュアなデータ流通を支える暗号関連技術
- 偽情報分析に係る技術
- ノウハウの効果的な伝承につながる人作業伝達等の研究デジタル基盤技術

1-1-2. 食料安全保障

<定義>

必要な食料に合理的な価格で持続的にアクセス・入手できること。

<焦点>

経済安全保障の観点から、本報告書では日本国内・社会の食料安全保障の確保に焦点を当てて。

<当該領域で解決すべき課題（例）>

日本の食料自給率の改善（既存の農産物の生産性向上、新たな食用生産物の創造）、備蓄の長期化・大規模化、有事下も含めた食料輸入・輸送の確保 等。

<具体的な重要技術（例）>

経済安全保障重要技術育成プログラム（K Program）において支援対象に決定した重要技術で、食料安全保障と強い関連があるものはないが、統合イノベーション戦略や戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）、ムーンショット型研究開発制度等の動向を踏まえて、以下のような技術を想定する（以下は国内生産向上に資する技術）。

- 肥料・堆肥関連
- 都市型農法関連（植物工場、水耕栽培、エアロポニックス、オプトポニックス）
- 水産物養殖（陸上養殖、アクアポニックス（循環型農法））
- 代替タンパク（大豆等の植物性タンパク、昆虫食）
- 微生物利用食品（納豆菌種由来等）
- センシング（衛星による土壌解析、IoT 機器による室温・水量・空気流の監視・調整、分子観察）、AI 等の農業 DX 関連 等

1-2. 調査の手法

本調査では、サイバーセキュリティ分野及び食料安全保障分野をはじめとする具体的な先端技術(候補)を探索すると同時に、技術の評価フレームワーク(技術評価の観点や手法・体制)を抽出した。整理した「具体的な技術」と「技術の評価フレームワーク(特に評価の観点)」は相互にその妥当性を検証した。なお、本調査の目的は技術の評価フレームワーク構築であるため、報告書には技術の評価フレームワークを中心に、調査結果を記述する。

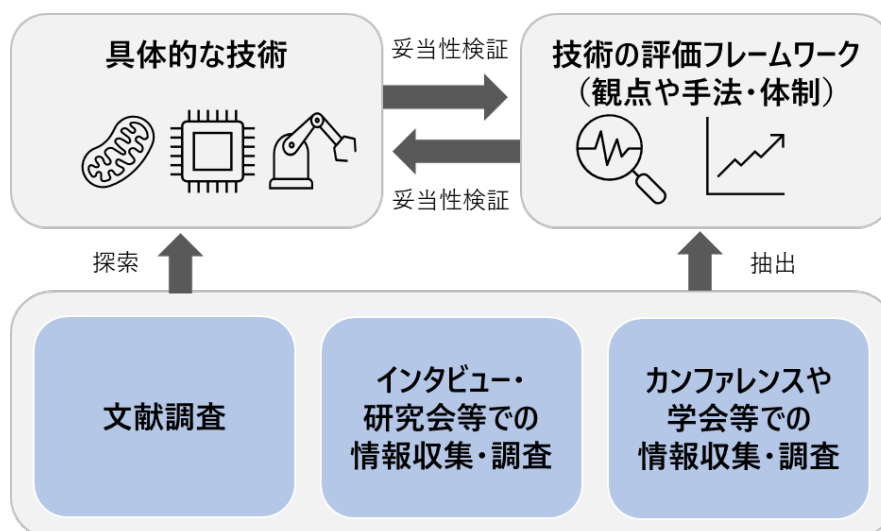


図 1 本調査の手法(イメージ)

出典: KGRI 作成

「具体的な技術」と「技術の評価フレームワーク」を明らかにするため、本調査では(1)文献調査、(2)インタビュー・研究会等での情報収集・調査、(3)カンファレンスや学会等での情報収集・調査を実施した。

- 「文献調査」は公開情報に基づくもので、諸外国機関による先端技術の評価手法や特定・評価結果等が含まれる。具体的には、
 - 英国ビジネス・エネルギー・産業戦略省(BEIS)による「商業化のポテンシャルを持つ新興技術の特定手法」(2021年10月)²
 - 欧州イノベーション会議(EIC)による「新興技術の特定とブレークスルーイノベーション」(2022年2月)³

² Department for Business, Energy & Industrial Strategy, *Methodology to Identify Emerging Technologies with UK Commercialisation Potential: Technical annex to the UK Innovation Strategy* (October 2021)

³ European Innovation Council (EIC), *Identification of Emerging Technologies and Breakthrough Innovation* (February 2022)

- 豪 RAND による「豪州の国益に基づく重要技術の優先順位付け」(2022 年)⁴
 - 豪戦略政策研究所 (Australian Strategic Policy Institute: ASPI) による「重要技術トラッカー」(2023 年 2 月)⁵
 - 欧州経済安全保障戦略に基づく欧州委員会 (EC)「EU 経済安全保障のための重要技術領域に関する勧告」(2023 年 10 月)⁶
 - 米国ガートナー社 (Gartner, Inc) による新興技術の「ハイブ・サイクル」評価⁷等
- 「インタビュー・研究会等での情報収集・調査」は、自然科学系研究者 (大学、企業)、社会科学系研究者 (大学、シンクタンク)、新規事業投資家・金融機関・技術系商社・コンサルティング会社の専門家、プログラムオーガナイザー等、技術・政策に係る幅広い専門家等を対象に実施した。分野別の対象数は以下の通り。

表 1 インタビュー・研究会等の分野別対象数

分類	対象数
先端技術全般 (下記以外)	11
サイバーセキュリティ	9
食料安全保障	6
合計	26

出典：KGRI 作成。

- 「カンファレンスや学会等での情報収集・調査」は公開及び非公開情報に基づくもので、カンファレンス等の終了後のネットワーク構築等を含む。

(1) 文献調査、(2) インタビュー・研究会等での情報収集・調査、(3) カンファレンスや学会等での情報収集・調査は、以下 4 つの観点 (新技術、課題、技術評価のプロセス、技術評価の視点) を設定し、実施した。

⁴ Peter Dortmans, et al., *Prioritising Critical Technologies of National Interest in Australia: Developing an Analytical Approach*, Prepared for the Defence Science and Technology Group, Department of Defence (RAND Australia, 2022)

⁵ Jamie Gaida, Jennifer Wong-Leung, Stephan Robin and Danielle Cave, *ASPI's Critical Technology Tracker: The Global Race for Future Power*, Policy Brief Report No. 69, Australian Strategic Policy Institute (February 2023)

⁶ “Commission recommends carrying out risk assessments on four critical technology areas: advanced semiconductors, artificial intelligence, quantum, biotechnologies,” European Commission, October 3, 2023.

⁷ Gartner, Inc, “Gartner Hype Cycle.” <https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle>

表 2 調査の観点と手法との関係

分類	観点	各調査との関係		
		(1)	(2)	(3)
1. 新技術	現在又は今後、注目すべき <u>新しい技術・重要技術</u> は何か？	○	○	○
2. 課題	上記技術の研究・開発・実装・普及の上での <u>課題</u> は何か？	○	○	
3. 技術評価のプロセス	技術動向の把握、技術シーズの特定、技術の重要度・インパクト評価を行う上での <u>手法</u> ・情報源・留意点は何か？	○	○	○
4. 技術評価の視点	技術を評価する際の <u>視点・観点</u> は何か？	○	○	

出典：KGRI 作成。

2. 調査結果：技術評価の視点

本調査では、技術を評価する際の視点や観点を整理した。技術分野全般と対象とした技術評価の視点（4つのカテゴリ、各カテゴリ内の評価の視点等）を整理し、サイバーセキュリティや食料安全保障に関する技術評価の留意点についてまとめる。

2-1. 全般

諸外国での技術評価のレビュー、本事業でのインタビュー、これを踏まえた検討結果をまとめると、技術評価の視点・観点は以下の4つ（A. 技術そのものの性質、B. 技術の成熟度・実装までの時間軸、C. 技術がもたらすインパクト、D. ニーズサイドからの優先度）に大別できる。

これら4つの分類のうち、「A. 技術そのものの性質」「B. 技術の成熟度・実装までの時間軸」「C. 技術がもたらすインパクト」は技術サイドからの現状ベースでの評価・見通し（フォアキャスティングな評価）、「C. 技術がもたらすインパクト」「D. ニーズサイドからの優先度」は政策サイドからのあるべき姿・望ましい課題解決の観点からの評価・優先順位付け（バックキャスティングな評価）と分類できる。

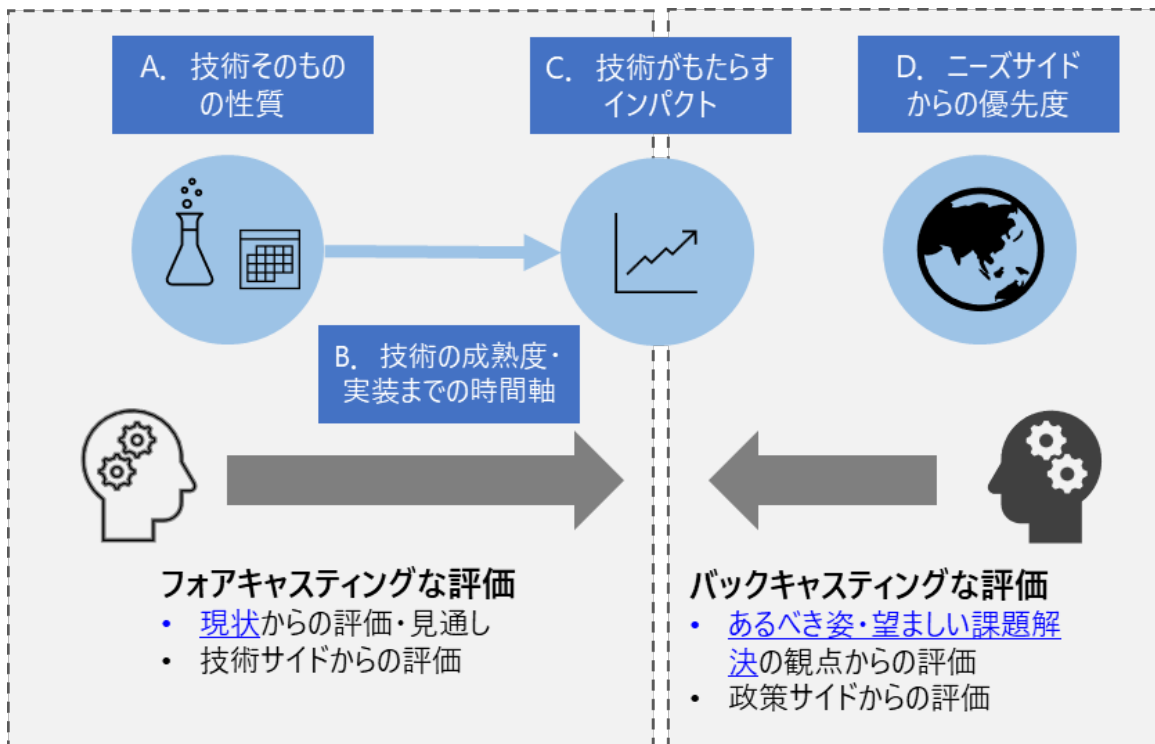


図 2 技術評価の関係性イメージ

出典：KGRI 作成。

表 3 技術評価の分類・概要・評価の視点 (例)

分類	概要	評価の視点 (例)
A. 技術そのものの性質	技術がどのような性質を持ちうるか (ポテンシャル)	<ul style="list-style-type: none"> 破壊性 汎用性 他分野への相互作用 等
B. 技術の成熟度・実装までの時間軸	技術が社会実装・普及するまでにどの程度かかるか 科学的蓄積がどの程度あるか	<ul style="list-style-type: none"> 技術成熟度 (TRL) 技術実装の時間軸 当該技術への投資高 ジャーナル投稿数 特許取得数 等
C. 技術がもたらすインパクト	技術が社会実装・普及した場合、どのような影響が生じうるか	<ul style="list-style-type: none"> 経済・産業上のインパクト (新規市場の創出、既存市場における優位性の拡大等) 安全保障上のインパクト (新たな脅威の創出、脅威対応力の向上等) <ul style="list-style-type: none"> ➤ 軍事分野への応用可能性 ➤ 「新たな作戦領域」と「戦闘領域」への影響 社会上のインパクト (人権侵害への悪用の恐れ等) 国際ルールメイキングの可能性 等
D. ニーズサイドからの優先度	どのような技術が開発できると望ましいか	<ul style="list-style-type: none"> 自国における技術開発・活用の強み (サプライチェーン、人材等の基盤) 自国内での技術開発の必要性 技術開発の集中度 中長期戦略、外部環境・シナリオにおける重要性 等

出典：KGRI 作成。詳細は「別紙 1 技術評価の視点の例」を参照。

各分類及び下位の技術評価の視点は次の通りである。ただし、これらは完全に「相互排他、完全集合 (Mutually Exclusive, Collectively Exhaustive: MECE)」ではなく、技術評価の各視点が重複する場合、又はある視点が別の視点の下位要素である場合がある。

2-1-A. 技術そのものの性質

分類「A. 技術そのものの性質」とは、技術がどのような性質を持ちうるか（ポテンシャル）を重視した評価軸である。具体的には以下の評価軸が考えられる。

- 「**破壊性**」とは、当該技術が従来の科学・研究パラダイムからどの程度、逸脱しているかを指す。
 - 豪 RAND では、ゲームチェンジング技術、既存のアプローチを全面的に見直す必要性がある要素を「破壊性 (disruptive)」と位置付ける。
 - 欧州イノベーション会議 (EIC) では、画期的な性質と強力な科学的要素という意味で「技術の先進性」と位置付ける。
- 「**汎用性**」とは、汎用技術 (General Purpose Technology: GPT) としての潜在度を表す。GPT は「広い範囲で多様な用途に使用され得る基幹的な技術のことであり、社会・経済のあらゆる分野におけるイノベーションにつながるという性質を持つ⁸⁾」ものであるが、本報告書では技術全体に影響を及ぼす技術も含めて GPT と呼ぶこととする。従って、あらゆる技術を「汎用性」で評価することは難しく、今日では、機械学習・深層学習や量子技術のように技術全体の基盤となりうるような潜在性を持つものに限定されるだろう。

No.	汎用技術 (GPT)	時期	No.	汎用技術 (GPT)	時期
1	植物の栽培	紀元前 9000~8000 年	13	鉄道	19 世紀半ば
2	動物の家畜化	紀元前 8000~7500 年	14	鋼製汽船	19 世紀半ば
3	鉛石の精錬	紀元前 8000~7000 年	15	内燃機関	19 世紀終わり
4	車輪	紀元前 4000~3000 年	16	電気	19 世紀末頃
5	筆記	紀元前 3400~3200 年	17	自動車	20 世紀
6	青銅	紀元前 2800 年	18	飛行機	20 世紀
7	鉄	紀元前 1200 年	19	大量生産	20 世紀
8	水車	中世初期	20	コンピューター	20 世紀
9	3本マストの帆船	15 世紀	21	リーン生産方式	20 世紀
10	印刷	16 世紀	22	インターネット	20 世紀
11	蒸気機関	18 世紀末~19 世紀初頭	23	バイオテクノロジー	20 世紀
12	工場	18 世紀末~19 世紀初頭	24	ナノテクノロジー	21 世紀

図 3 これまでの GPT

出典：総務省 (2019) より抜粋。

- 「**他分野への相互作用**」とは、ある技術が GPT のような潜在性を持つものではないにせよ、特定の技術分野に与える影響の潜在度を指す。
 - 豪 RAND では、組み合わせることで新規の効率性と機会を創出とういう意味で「相互影響性 (converging)」と位置付ける。
 - 専門家インタビューでは、先端エンジニアリング・製造技術、先端材料科学、マイクロプロセッサ・半導体技術、宇宙関連技術分野でのインパクトが確認された⁹⁾。

⁸⁾ 総務省『情報通信白書』(令和元年版)

<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r01/html/nd122220.html>

⁹⁾ 先端技術全般のインタビュー等より。

2-1-B. 技術の成熟度・実装までの時間軸

分類「B. 技術の成熟度・実装までの時間軸」は、当該技術が基礎研究・応用研究を経て実用化・商業化されるまでの程度、又は科学的蓄積の程度を表す。具体的には以下の評価軸が考えられる。

- 「**技術成熟度 (Technology Readiness Level: TRL)**」は、異なる技術の成熟度や実用化レベルを判断するための尺度である。
 - 米国航空宇宙局 (NASA) で 1974 年に提唱され、1989 年に定式化されたもの。TRL1 が基礎研究であり、TRL9 が実運用段階・商業化と定義される。

表 4 米 NASA の TRL 定義

TRL9	Actual system "flight proven" through successful mission operation
TRL8	Actual system completed and "flight qualified" through test and demonstration (ground or space)
TRL7	System prototype demonstration in a space environment
TRL6	System/subsystem model or prototype demonstration in a relevant environment (ground or space)
TRL5	Component and/or breadboard validation in relevant environment
TRL4	Component and/or breadboard validation in laboratory environment
TRL3	Analytical and experimental critical function and/or characteristic proof-of- concept
TRL2	Technology concept and/or application formulated
TRL1	Basic principles observed and reported

出典：Manning, C. (2023)より抜粋。

- EIC (欧州イノベーション会議) では TRL に応じて、技術に対する 3 段階の投資スキームを設定する。

表 5 TRL に紐づく EIC の技術投資スキーム

TRL	EIC の挑戦 (技術投資スキーム)
1 - 4	新興技術研究の初期段階 (Pathfinder Challenges)
4 - 6	技術と商業化のビジネスプラン開発の成熟期 (Transition Challenges)
5 - 9	イノベーションの開発と商業規模の拡大 (Accelerator Challenges)

出典：European Innovation Council (2022), p.6 より作成。

- 「技術実装の時間軸」は、ある技術が実用化・商業化されるまでの程度を具体的な時間軸で判断したものである。どのような時間軸を設定するかは、技術評価の目的や分野により異なる。
 - 英 BEIS では、「技術が影響をもたらす時間 (time to impact of the technology)」として、2018 年時点を基軸として、「短期 (short term, 2018-2020 年)」「中期 (medium term, 2021~2023 年)」「長期 (long term, 2024 年以降)」を設定している¹⁰。それぞれ、「短期 (0-2 年以内)」「中期 (3-5 年)」「長期 (6 年以上)」に相当する。
 - 豪 RAND の設定する「実現の時間枠 (realisation timeframe)」は、国益に基づく重要技術 (Critical Technologies of National Interest: CTNI) の候補を「即時 (immediate)」「エマージング (emerging)」「長期 (long-term)」以下のいずれかの方針と適合させるものである。豪 RAND ではこの評価時期を政策観点とは対置して、「技術的特徴 (technology characteristics)」と位置付けているものの、純粋な技術サイドのフォアキャスト評価というよりも、政策ニーズに基づくバックキャストの側面も有する。

表 6 豪 RAND の技術実現の時間枠

分類	RAND 記述	KGRI 解釈
即時 (immediate)	国民のために政府が迅速に対応する必要があり、あるテクノロジーがその対応の中心であると特定された、現在進行中の重大な変化に対応できる。	技術は既に <u>実用段階</u> で、 <u>重要な喫緊の課題を解決できる</u> 。
エマージング (emerging)	新たな脅威や機会が特定され、政府がイノベーションに投資したり、政策手段を調整して成果を最適化したりするための選択肢がテクノロジーによって提供されている。	技術は、具体的な課題解決に貢献が可能であり、 <u>現時点で実用可能か近い将来に実用可能である</u> 。
長期 (long-term)	将来、重大なリスクや展望が予測され、それが対処されなければ、国の相対的な世界的地位や国家生産性を低下させるような場合に対応できる。	技術は、将来の重大な課題解決に貢献が <u>可能であるが、まだ実用段階ではない</u> 。

出典：Dortmans, P., et.al. (2022), p.33 を修正 (豪州等の表現を一般化)。

¹⁰ Department for Business, Energy & Industrial Strategy, *Methodology to Identify Emerging Technologies with UK Commercialisation Potential: Technical annex to the UK Innovation Strategy* (October 2021), p.6.

- ガートナー (Gartner) 社による有名な技術評価「ハイプ・サイクル (hype cycle)」では、技術的イノベーションが成熟・安定するまでの時間軸を「2年未満」「2年から5年」「5年から10年」「10年以上」と設定する。ガートナー社によれば、技術に対する「期待度」はイノベーションの実際の成熟度に加えて、「ハイプ (誇大宣伝)」も含めて合成されている。技術は時間経過とともに、5つのステージで構成される。具体的には、①「黎明期 (Technology Trigger)」、②「『過度な期待』のピーク期 (Peak of Inflated Expectations)」、③「幻滅期 (Trough of Disillusionment)」、④「啓発期 (Slope of Enlightenment)」、⑤「生産性の安定期 (Plateau of Productivity)」である¹¹。

日本における未来志向型インフラ・テクノロジーのハイプ・サイクル：2023年

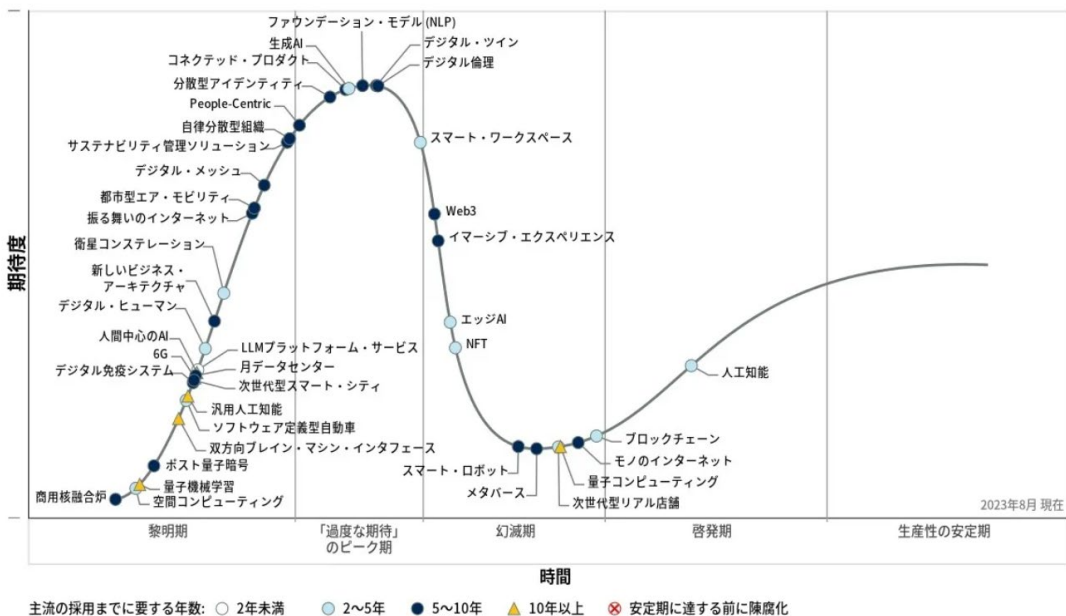


図 4 ガートナー社の「ハイプ・サイクル」(2023年8月現在)

出典：ガートナー・ジャパン株式会社 (2023)より抜粋。

¹¹ “Understanding Gartner’s Hype Cycles,” August 20, 2018.
<https://www.gartner.com/en/documents/3887767>

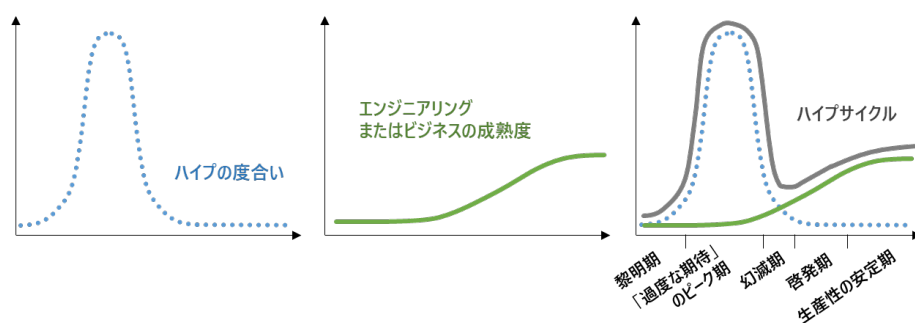


図 5 ガートナー社のハイブ・サイクルの構成要素と技術ライフサイクル
出典：Gartner, Inc. (2018) 基に KGRI 作成・加工。

表 7 ガートナー社のハイブ・サイクルと技術ライフサイクル

技術ライフサイクル	概要
黎明期	潜在的技術革新によって幕が開く。初期の概念実証 (POC) にまつわる話やメディア報道によって、大きな注目が集まる。多くの場合、使用可能な製品は存在せず、実用化の可能性は証明されていない。
「過度な期待」のピーク期	初期の宣伝では、数多くのサクセスストーリーが紹介されるが、失敗を伴うものも少なくない。行動を起こす企業もあるが、多くはない。
幻滅期	実験や実装で成果が出ないため、関心は薄れる。テクノロジーの創造者らは再編されるか失敗する。生き残ったプロバイダーが早期採用者の満足のいくように自社製品を改善した場合に限り、投資は継続する。
啓発期	テクノロジーが企業にどのようなメリットをもたらすのかを示す具体的な事例が増え始め、理解が広まる。第2世代と第3世代の製品が、テクノロジー・プロバイダーから登場する。パイロットに資金提供する企業が増える。ただし、保守的な企業は慎重なままである。
生産性の安定期	主流採用が始まる。プロバイダーの実行存続性を評価する基準がより明確に定義される。テクノロジーの適用可能な範囲と関連性が広がり、投資は確実に回収されつつある。

出典：ガートナー・ジャパン株式会社より抜粋 (文末表現等は KGRI 修正)。

- 「当該技術への投資高」とは、当該技術に対する公的セクター及び民間セクターの資本投入高の多寡を示す。
- 「ジャーナル投稿数」とは、当該技術に関する研究論文が、学術誌等のジャーナルに投稿された回数を指す。
 - 特定分野によってはジャーナルよりも、採択率の低い国際会議の方がベンチマークとなる場合がある。
 - 単純なジャーナル投稿総数のみならず、トップティアジャーナルへの投稿数やインパクトファクタが重視される場合もある。
- 「特許取得数」とは、当該技術に関する関連の特許出願状況、取得状況を指す。

2-1-C. 技術がもたらすインパクト

分類「C. 技術がもたらすインパクト」は、技術が社会実装・普及した場合、どのような影響が生じるかを表す。この分類は、技術サイドのフォアキャスト評価と政策サイドからのバックキャスト評価の両側面がある。具体的には以下の評価軸が考えられる。

- 「経済・産業上のインパクト」とは、新規市場の創出、既存市場における優位性の拡大に資する程度を指す。
 - 豪 RAND は、新しい市場を創造し、既存の市場を維持すること等に貢献する可能性として「繁栄 (prosperity)」と位置付ける。
 - 英 BEIS では、当該技術によって影響を受ける産業セクターの数と位置付ける。
 - 欧州経済安全保障戦略に基づく「EU 経済安全保障のための重要技術領域に関する勧告」(2023年10月3日)では、「技術セキュリティと技術漏洩に関連して最も機密かつ差し迫ったリスクをもたらす可能性が高い」最重要の先端技術領域の評価軸の一つとして、技術が性能や効率の大幅な向上やセクターや能力などの根本的な変化をもたらす可能性と関連性を、「技術の可能性と変革性 (enabling and transformative nature of the technology)」と位置付ける¹²。
 - 日本政府や与党・自民党の経済安全保障政策では、「戦略的不可欠性」と位置付け

¹² “Commission recommends carrying out risk assessments on four critical technology areas: advanced semiconductors, artificial intelligence, quantum, biotechnologies,” European Commission, October 3, 2023. 最重要の先端技術領域4分野として特定されたのは、先端半導体技術、AI技術、量子技術、バイオテクノロジーである。技術評価の観点、①抜本的な技術革新をもたらす可能性、②軍事転用のおそれ、③人権侵害のおそれの3つである。

られる¹³。

- 国内政府系シンクタンクの技術評価では、将来への市場インパクトという意味で「先進性」が検討された¹⁴。
- 「安全保障上のインパクト」とは、新たな脅威を創出したり、脅威の能力を向上させたり、もしくは自国の脅威対応力を向上させうる程度である。
 - 豪 RAND は、新たな脅威を生み出し、オーストラリアがその安全保障目標を達成する能力を損ない、最終的には既存の能力を無効にする可能性として「安全保障 (security)」と位置付ける。
 - 「安全保障上のインパクト」のうち、「軍事分野への応用可能性」とは、防衛力整備や軍事的競争の優位性に影響を与える程度を指す。
 - 前述の「EU 経済安全保障のための重要技術領域に関する勧告」では、技術が民間と軍事の両セクターに関連し、両方の領域を前進させる可能性や、ある技術の使用が平和と安全を損なうリスクである「民間と軍事の融合のリスク (the risk of civil and military fusion)」と位置付ける。
 - 国内政府系シンクタンクの技術評価では、軍事利用のデュアルユース性を含めて、「多義性」が検討された¹⁵。
 - 「安全保障上のインパクト」のうち、「『新たな作戦領域』と『戦闘領域』への影響」とは、宇宙・サイバー・電磁波・認知領域といった比較的新しい領域の作戦領域化・戦闘領域化やそうした領域での優位性に貢献する程度である。
 - 「社会上のインパクト」とは、社会的安定や紐帯に与える影響の程度を指す。
 - 豪 RAND は、国家の安定を可能にし、即時の利益を実現するか課題を引き起こし、又は長期的には重大かつ急速な社会変化を引き起こし、オーストラリアの生活様式に影響を与える可能性として、「社会的紐帯 (social cohesion)」と位置付ける。
 - 前述の「EU 経済安全保障のための重要技術領域に関する勧告」では、基本的な自由を制限することを含めて、技術が人権を侵害する形で悪用される「人権の侵害の可能性 (the risk the technology could be used in violation of human rights)」と位置付ける。機械学習・深層学習、生体情報・バイオ技術、監視技術等が含まれると考えられる。
 - 「国際ルールメイキングの可能性」とは、当該技術が新たな技術標準領域を開拓すること、又は当該技術によって新規市場を創出することで、技術標準策定やルール形成に資する可能性を指す。

¹³ 自由民主党政務調査会・新国際秩序創造戦略本部『中間取りまとめ：「経済財政運営と改革の基本方針2021」に向けた提言』（2021年5月27日）；「経済安全保障の推進に向けて」第1回経済安全保障推進会議 資料3（2021年11月19日）。

¹⁴ 先端技術全般のインタビュー等より。

¹⁵ 先端技術全般のインタビュー等より。

- 人工タンパク質繊維の技術開発により、ISO2076「タンパク質繊維」の改訂（人工的に製造されたタンパク質も適用）に至った¹⁶。

2-1-D. ニーズサイドからの優先度

分類「D. ニーズサイドからの優先度」は、既に顕在化している・予想される社会課題、国社会で目指す自国のポジション、戦略や外部環境等の政策的ニーズから設定される技術開発の優先度を表す。具体的には以下の評価軸が考えられる。

- 「戦略・外部環境における重要性」とは、既に策定済の中長期の戦略や外部環境予測・シナリオにおける重要度を指す。
 - 英 BEIS では、当該技術によって影響を受けるメガトレンドの数と位置付けられる。
 - 豪 RAND では、既に策定した外部環境予測やシナリオにおける重要性・親和性と位置付けられる。
- 「自国における技術開発・活用の強み」とは、自国が当該技術を開発することに関する優位性の現状を指す。
 - 豪 RAND では、インフラや十分なスキルと規模の労働力としての「国家基盤 (national base)」、国家の資源の効率的かつ効果的な活用としての「リソースの活用 (resource utilization)」、重要技術をサポートするための強靱な「サプライチェーン (supply chain)」、自国内における重要技術の維持又は信頼できるパートナーによる開発とアクセスといった「持続的なアクセスと主権的な能力 (enduring access and sovereign capability)」が指摘される。
 - サイバーセキュリティや食料安全保障分野では、技術を活用するための、高度なスキルやノウハウを持った人材の多寡と位置付けられる（詳細は後述）。
 - 国内政府系シンクタンクの技術評価では、国内で研究開発が行えるという意味で「自律性」が検討された¹⁷。
- 「自国内での技術開発の必要性」とは、当該技術を自国内で開発・維持すること（機密保持を含む）の必要性を指す。
 - 日本政府や与党・自民党の経済安全保障政策では、「戦略的自律性」と位置付けられる¹⁸。

¹⁶ 食料安全保障関連のインタビュー等より。

¹⁷ 先端技術全般のインタビュー等より。

¹⁸ 自由民主党政務調査会・新国際秩序創造戦略本部『中間取りまとめ：「経済財政運営と改革の基本方針2021」に向けた提言』（2021年5月27日）；「経済安全保障の推進に向けて」第1回経済安全保障推進会議 資料3（2021年11月19日）。

- 国際的な技術開発のスキームとして、(1) 自国内の技術開発、(2) 同盟国や同志国・有志国での技術開発、(3) 潜在的競争相手を含む国際社会全体での技術開発が考えられる。米中対立の文脈で(2)の重要性が指摘されるが、新型コロナウイルス感染症(COVID-19)流行拡大初期のように、米欧からの医療物資や医薬品供給が制限されたことを踏まえて、技術開発についても米欧からの自律性を確保すべきとの見方もある¹⁹。
- 「**技術開発の集中度**」とは、ある特定技術の研究開発や技術的専門性の蓄積が特定国に集中している度合いを指す。
 - 豪 ASPI は、重要技術の評価に際し、技術開発の先導国と「**技術の寡占リスク (technology monopoly risk)**」を分析している(結果は次頁を参照)。これは、単一国への技術的専門性の集中度を強調した指標である²⁰。この指標は関連する2つの要因、①先導国が次点となる競合国と比べてどれだけ先行しているか、②世界トップ10の研究機関のうち、先導国に位置しているものがいくつあるか、である。

表 8 豪 ASPI による「技術の寡占リスク」レーティング

レーティング	要件
高リスク	<ul style="list-style-type: none"> • 先導国は、世界トップ研究機関 10 のうち 8 以上を有する。かつ • 先導国は、次点となる競合国よりも少なくとも 3 倍以上の研究リードがある。
中リスク	<ul style="list-style-type: none"> • 先導国は、世界トップ研究機関 10 のうち 5 以上を有する。かつ • 先導国は、次点となる競合国よりも少なくとも 2 倍以上の研究リードがある。
低リスク	中リスクの要件が満たされない。

デフォルトの位置は「低リスク (low)」であり、レーティングを上げるには、要件内の基準双方を満たす必要がある。出典：Gaida, J., et.al.(2023)より KGRI 作成。

¹⁹ 先端技術全般のインタビュー等より。

²⁰ Gaida, et.al., *ASPI's Critical Technology Tracker*, p.13.

分類	No.	技術分野	先導国	専有リスク
Advanced materials and manufacturing	1	Nanoscale materials and manufacturing	中国	高
	2	Coatings	中国	高
	3	Smart materials	中国	中
	4	Advanced composite materials	中国	中
	5	Novel metamaterials	中国	中
	6	High-specification machining processes	中国	中
	7	Advanced explosives and energetic materials	中国	中
	8	Critical minerals extraction and processing	中国	低
	9	Advanced magnets and superconductors	中国	低
	10	Advanced protection	中国	低
	11	Continuous flow chemical synthesis	中国	低
	12	Additive manufacturing (incl. 3D printing)	中国	低
Artificial intelligence, computing and communications	13	Advanced radiofrequency communications (incl. 5G and 6G)	中国	高
	14	Advanced optical communications	中国	中
	15	Artificial intelligence (AI) algorithms and hardware accelerators	中国	中
	16	Distributed ledgers	中国	中
	17	Advanced data analytics	中国	中
	18	Machine learning (incl. neural networks and deep learning)	中国	低
	19	Protective cybersecurity technologies	中国	低
	20	High performance computing	米国	低
	21	Advanced integrated circuit design and fabrication	米国	低
	22	Natural language processing (incl. speech and text recognition and analysis)	米国	低
Energy and environment	23	Hydrogen and ammonia for power	中国	高
	24	Supercapacitors	中国	高
	25	Electric batteries	中国	高
	26	Photovoltaics	中国	中
	27	Nuclear waste management and recycling	中国	中
	28	Directed energy technologies	中国	中
	29	Biofuels	中国	低
	30	Nuclear energy	中国	低
Quantum	31	Quantum computing	米国	中
	32	Post-quantum cryptography	中国	低
	33	Quantum communications (incl. quantum key distribution)	中国	低
	34	Quantum sensors	中国	低
Biotechnology, gene technology and vaccines	35	Synthetic biology	中国	高
	36	Biological manufacturing	中国	中
	37	Vaccines and medical countermeasures	米国	中
Sensing, timing and navigation	38	Photonic sensors	中国	高
Defence, space, robotics and transportation	39	Advanced aircraft engines (incl. hypersonics)	中国	中
	40	Drones, swarming and collaborative robots	中国	中
	41	Small satellites	米国	低
	42	Autonomous systems operation technology	中国	低
	43	Advanced robotics	中国	低
	44	Space launch systems	米国	低

図 6 重要技術分野 44 項目の先導国と専有リスク

出典： Gaida, et.al. (2023), p.56 より作成。各項目のトップ5が示され、豪州、カナダ、中国、ドイツ、フランス、インド、イラン、イタリア、日本、韓国、マレーシア、オランダ、ロシア、サウジアラビア、シンガポール、英国、米国が掲載されたが、先導国（1位）は中国又は米国であった。米中を比較すると、技術分野 44 項目のうち、37 項目で中国が米国を上回り、先導国（ASPI のスコアで 1 位）となった。

2-2. サイバーセキュリティ

サイバーセキュリティ分野の課題解決には、技術のほかスキル・ノウハウ、脅威対策コンセプト（技術以外の解決）、具体的な戦術・技術・手順（Tactics, Techniques, and Procedures: TTPs）やアクションとの紐づけ等も重要である。

2-2-1. スキル・ノウハウ

- サイバーセキュリティの維持・向上には、高度なスキルやノウハウを持った専門の人材による運用が重要である。ほとんどのサイバーセキュリティ関連製品やサービスは導入して完結するものではなく、運用やメンテナンスを必要とする²¹。そのため、技術開発そのものよりも、技術を用いた製品・サービスを高度に運用できる専門の人材が不可欠となる。
- あえて技術評価の視点に置き換えると、「スキル・ノウハウ」は、「D. ニーズサイドからの優先度」中の「自国における技術開発・活用の強み」と親和性が高い。

2-2-2. 脅威対策のコンセプト

- 革新的なサイバーセキュリティ対策には従来の考え方やコンセプトを覆すことが重要である。脅威対策のコンセプトを評価した上で、紐づく技術・不足している技術を特定・評価することが重要である。以下は脅威対策のコンセプトの例。
 - ▶ 「ゼロデイを検出する」(FireEye 社) や「攻撃者を特定する」(CrowdStrike 社) 等の初期時には常識を覆すようなコンセプト²²。
 - ▶ 「トラステッド実行環境 (TEE)」…保護された実行環境 (暗号化したままでの実行技術等) を提供するハードウェアの仕組み²³。
 - ▶ 「認知戦のキルチェーン」…APT や外国の政府系メディア、ボットネットによる偽情報流布や影響工作を一連の「チェーン」と捉え、その一部を破壊・寸断するというアイデア。元はサイバー攻撃に関する「サイバーキルチェーン」から²⁴。
- 特にサイバー安全保障分野では、外国の軍・情報機関に紐づく「高度で持続的な脅威 (advanced persistent threats: APT)」に対処する必要があり、脅威対策のコンセプトは特に重要となる。
- あえて技術評価の視点に置き換えると、「脅威対策のコンセプト」は、「D. ニーズサイ

²¹ サイバーセキュリティ関連のインタビュー等より。

²² サイバーセキュリティ関連のインタビュー等より。

²³ サイバーセキュリティ関連のインタビュー等より。

²⁴ サイバーセキュリティ関連のインタビュー等より。

ドからの優先度」中の「中長期戦略、外部環境・シナリオにおける重要性」と親和性が高い。

2-2-3. 具体的な戦術・技術・手順 (TTPs) やアクションとの紐づけ

- サイバーセキュリティやオンラインを通じた影響工作 (influence operation) の分野では、具体的な戦術・技術・手順 (TTPs) が体系的に整理されている。サイバーセキュリティに関連する TTPs は MITRE ATT&CK フレームワーク、オンラインでの影響工作は AMITT (Adversarial Misinformation Influence Tactics & Techniques) /DISARM フレームワークである。後者は攻撃フレームワーク (Red: Disinformation Framework) と防御フレームワーク (Blue: Countermeasures Framework) に大別される²⁵。
- 技術の評価については、サイバー攻撃者や脅威が活用・重視する TTPs のトレンドを見極めて、これらに対処できる TTPs に貢献できる技術を見極めることが有益である。ただし、これら TTPs のトレンドは一般的な技術開発の時間軸よりも短いため、実際には難しい可能性がある。
- あえて技術評価の視点に置き換えると、「具体的な TTPs やアクションとの紐づけ」は、「D. ニーズサイドからの優先度」中の「中長期戦略、外部環境・シナリオにおける重要性」と親和性が高い。

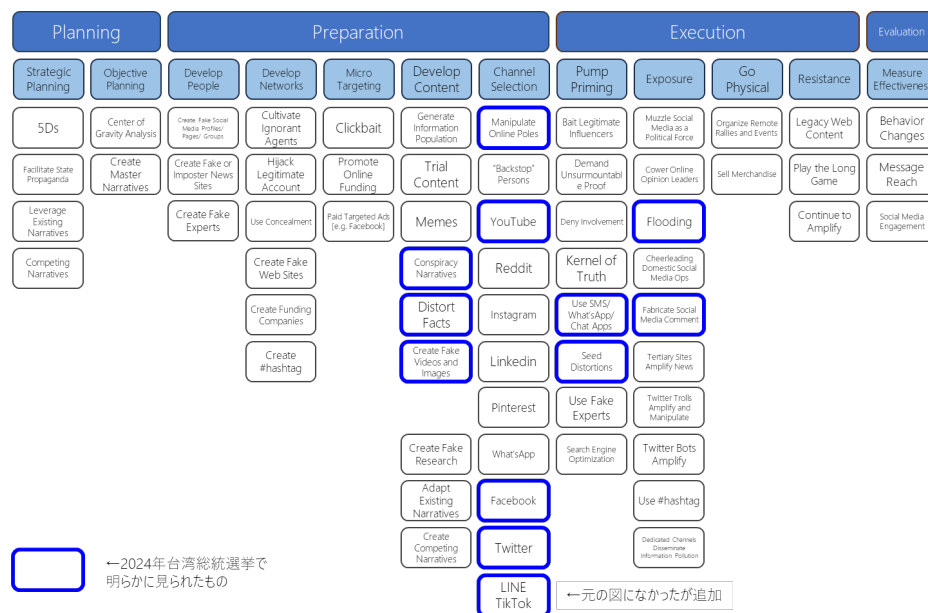


図 7 AMITT /DISARM Red Team Framework による整理
(攻撃者・脅威が用いた影響工作の TTPs)

出典：Breuer (2023), p.10 を基に、2024 年台湾総統選挙における攻撃者の TTPs を踏まえて KGRI 作成。

²⁵ サイバーセキュリティ関連のインタビュー等より。

2-3. 食料安全保障

食料安全保障は学際性・射程が広いとため、個別の技術を評価する際（特にインパクトやニーズサイドからの優先度を評価する際）、食料安全保障関連技術の全体像整理と個別領域での技術評価軸の設定が必要である。また、食料安全保障は国民に広くかつ直接影響するものであるため、技術評価に当たっては、生産性のみならず、その技術によって最終的に国民の食卓に届くか否か（安全性、食感・食べ応え、抵抗感、既存の多様な食事・食材の代替性等）の観点も重要である。

2-3-1. 全体像整理

- 現在、日本では「全ての国民が、将来にわたって良質な食料を合理的な価格で入手」できる環境を維持するため、「食料・農業・農村基本法」（1999年制定）において、国内の農業生産の増大を図ることを基本とし、これと輸入及び備蓄を適切に組み合わせ、食料の安定的な供給を確保することとしている²⁶。
- これを要素分解すると以下の通りである。例えば、「国内生産」と「輸入」では全く異なる性格を有しているため、同一の視点・観点での技術評価は難しい。

表 9 「食料安全保障」の構成要素と関連技術

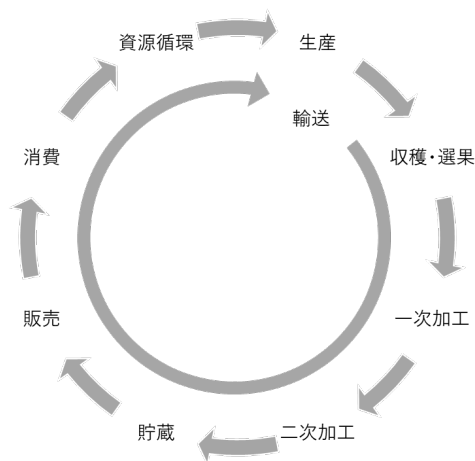
分類	関連する技術	具体的な技術例
国内生産 【基本】	食料生産効率の向上、新たな食用生産物の開発に資する技術	農業 DX、農業 GX、代替タンパク、遺伝子組換え・ゲノム編集、都市型農法、水産物養殖 等
輸入	海外からの輸入、国内輸送の確実性・効率性の向上に資する技術	ドローン、自動運転、化学・冷凍処理 等
備蓄	備蓄の量や期間の拡大に関する技術	化学・冷凍処理、分子観察 等

出典：食料・農業・農村基本法第2条を基に KGRI 作成。

- 食料安全保障は、立場によって含意のかわるコンセプトであるため、上記以外にも、食料生産ライフサイクルの構成要素や国連食糧農業機関（FAO）が定義する「食料安全保障」の構成要素に注目した全体像整理がありうる。
- 「国内生産」についても、(1) 既存食料か新たな食料か、(2) 食料そのもの（品種育成・改良、代替製品の開発）か周辺分野（農法、生産設備、運営・管理）か等の多様な観点が存在するため、単一の尺度や視点での技術評価は困難である。

²⁶ 農林水産省「食料安全保障とは」。https://www.maff.go.jp/j/zyukyu/anpo/1.html

例 1：食料生産ライフサイクルの構成要素 例 2：FAO の「食料安全保障」の構成要素



Food Availability (供給面)	適切な品質の食料が十分な量供給されているか
Food Access (アクセス面)	栄養ある食料を入手する合法的・政治的・経済的・社会的な権利を持ちうるか
Utilization (利用面)	安全で栄養価の高い食料を摂取できるか
Stability (安定面)	いつ何時でも適切な食料を入手できる安定性があるか

FAO の食料安全保障…「全ての人が、いかなる時にも、活動的で健康的な生活に必要な食生活上のニーズと嗜好を満たすために、十分に安全かつ栄養ある食料を、物理的、社会的及び経済的にも入手可能であるときに達成される状態」

図 8 「食料安全保障」の構成要素に関する他の考え方

出典：(左) KGRI 作成、(右) 外務省 (2020) から抜粋。

表 10 国内生産に資する技術の分類と具体例

分類 a	分類 b	具体例 (記述の粒度は仮のもの)
(a-1) 既存食料の生産性向上に資する技術	(b-1) 農業・生産設備の運営・管理の改善に関する技術	肥料・堆肥関連
		都市型農法：狭小地での生産性向上 (植物工場、水耕栽培、エアロポニックス、オプトポニックス)
		水産物養殖 (陸上養殖、アクアポニックス (循環型農法))
(a-2) 新たな食料の生産に資する技術	(b-2) 品種育成・改良、代替製品の開発に関する技術	センシング (衛星による土壌解析、IoT 機器による室温・水量・空気流の監視・調整、分子観察)、AI 等
		遺伝子組換え、ゲノム編集技術 (成育しやすい、可食部が多い畜産・農産物等の創造や未利用資源の栽培)
		代替タンパク (植物性タンパク、昆虫食等)
		細胞性食品 (培養肉)
		微生物利用食品

出典：食料安全保障に関するインタビューを基に KGRI 作成。右下の二重線囲みは次頁で詳細を記述。

2-3-2. 個別の評価軸（例：代替タンパク等の新規の食用生産物）

前述の通り、食料安全保障に関する全体像を整理した上で、必要な分野で技術評価の視点を設定することが重要である。例えば、代替タンパク（大豆等の植物性タンパク、昆虫食）や微生物利用食品（納豆菌種由来等）をはじめとする新たな食用生産物に関する技術の評価する際、以下のような観点が確認された。

表 11 代替タンパクや微生物利用食品等の新規食用生産物関連技術の評価の視点

評価の視点（例）	概要
生産性	単収（規模拡大性）、資源投入量、原料変換率 等
市場性	おいしさ、食感・抵抗感、価格 等。特に代替タンパク質（や培養肉）は、歯応えや食感も市場性を高める重要な要素とみられる。
多様な食事・食材の代替性	市場性を構成する要素。現在存在している多様な食事・食材をどれほどカバーしうるか、という代替性の高さ。現実問題として、人は同じような食事・食材を毎日食べることは困難なため、既存の食事や食材をどの程度、置き換えられるかが重要となる ²⁷ 。
安全性	食に関しては「安全性」は評価を行う上での大前提となるため、スケール評価・定量評価というより、Y/N 評価（一般消費者心理として「安全性に問題がない」「安全性に疑問がある」）となる ²⁸ 。
持続可能性	生産方法がどの程度持続可能か（地球環境や生態系、水資源等への負荷の程度）。

出典：食料安全保障に関するインタビュー等を基に KGRI 作成。

²⁷ 食料安全保障関連のインタビュー等より。

²⁸ 食料安全保障関連のインタビュー等より。

3. 調査結果：技術評価のプロセス・体制

本調査では、「安全・安心に関するシンクタンク」のミッションと機能・役割の現状案を踏まえて新しい技術を評価する際のプロセスや体制を整理した。技術評価のプロセス・体制全般に係る論点・留意点、プロセスや体制の各論、サイバーセキュリティと食料安全保障分野における留意点を紹介する。

「安全・安心に関するシンクタンク」のミッションと機能・役割の現状案		
当面の具体的なミッション		
<ul style="list-style-type: none"> ① 経済安全保障重要技術育成プログラムの運用に当たって必要な情報提供・助言や、経済安全保障推進法に基づく調査研究の受託を可能とする調査・分析基盤の構築 ② 新たな分析手法の開発と OJT による人材養成・能力開発 ③ 国内外の関係機関との間の調査研究ネットワークの構築 		
果たすべき機能・役割		
	立上げ時点で持つべき機能・役割	将来的に拡張すべき機能・役割
情報収集	<ul style="list-style-type: none"> • オープンソースからの情報収集 • 人的ネットワークを介した非公開情報の収集 	<ul style="list-style-type: none"> • 国内外の政府機関等からの非公開情報の入手 • 在外公館等と連携した情報収集 • 海外とのクローズドな意見交換
解析・分析	<ul style="list-style-type: none"> • 技術動向分析、社会科学的分析 • 成熟度、依存度等の技術評価 • シーズとニーズのマッチング 	<ul style="list-style-type: none"> • データサイエンス、シナリオ分析等の新たな分析手法の開発 • マッチングの高度化
人材育成	<ul style="list-style-type: none"> • 即戦力の確保と OJT による人材養成・能力開発 • 産学官との人材交流 	<ul style="list-style-type: none"> • 人材育成プログラムや学位プログラムの構築 • 海外との人材交流
ネットワーク構築	<ul style="list-style-type: none"> • 国内外の関係機関とのネットワークの構築 • 国内公的シンクタンクとの連携 	<ul style="list-style-type: none"> • 海外シンクタンクとの連携強化 • 人材の層を厚くするための関係コミュニティの構築
出典：内閣府 科学技術・イノベーション推進事務局「安全・安心に関するシンクタンクの基本設計（概要）」（2023年4月7日）より抜粋。 https://www8.cao.go.jp/cstp/anzen_anshin/gaiyo.pdf		

3-1. 技術評価のプロセス・体制全般に係る論点・留意点

本調査を通じて、技術評価のプロセス・体制の全般に係る論点・留意点が確認された。具体的には、①シンクタンクの機能、②（技術評価の）領域・テーマの範囲、③領域・テーマの設定方法である。

論点① シンクタンクの機能

- 既に策定済の「安全・安心に関するシンクタンク」の4機能（情報収集、解析・分析、人材育成、ネットワーク構築）は、政策サイドの判断材料を提供する上での、インテリジェンス機能である。本調査では、インテリジェンス機能に加えて、意思決定・アクション機能を有するべきとの指摘もあった。
- 本報告書の提言パート「4.『安全・安心に関するシンクタンク』への提案事項」では、インテリジェンス機能のみに焦点を当てた。

論点	根拠や備考
インテリジェンス	シンクタンクは政策判断の材料を提供するという意味でインテリジェンス機能を有し、原則論からすれば <u>インテリジェンスの提供機能（シンクタンクの活動）と判断・意思決定は分離すべき。</u>
インテリジェンス +意思決定・アクション	海外シンクタンク等が本来持つ、政策形成機能やアジェンダセッティング機能という観点では、以下のような機能も追加すべき。 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 重要技術への<u>投資・ファンディング機能</u>²⁹ ➢ 技術政策の<u>政策パッケージの企画・提案機能</u>

論点② 領域・テーマの範囲

- 技術評価の前提となる対象領域・テーマについては、広範囲・網羅的であるべきとの見方、重点領域・選択的に調査することが現実であるとの見方があった。
- 本報告書の提言パート「4.『安全・安心に関するシンクタンク』への提案事項」では、「重要領域・選択的」な情報収集や解釈・分析を前提に検討を行った。
- どのような技術領域・テーマを設定するにせよ、技術の評価プロセス・体制における技術の記述粒度と政策サイドで検討する際の技術の記述粒度はすり合わせることが望ましい。
 - 技術領域・テーマを設定する際、記述の粒度が重要となってくる。最終的な政策判断にあわせた記述粒度に基づき、情報収集、解析・分析を行った方が効率的で、相互理解が深まるのではないか³⁰。

²⁹ 先端技術全般のインタビュー等より。

³⁰ 先端技術全般のインタビュー等より。

論点	根拠や備考
広範囲・網羅的	技術領域を絞れば、技術シーズは探索しやすくなるが、 <u>周辺領域におけるシーズ等の見落とし</u> が発生しやすい ³¹ 。重要な兆候を見落とさないためにも、重要技術分野は全て網羅的に収集すべき。重要な対象領域・テーマを見直すにしても、知見の蓄積が必要であるため、結果的に広い分野を追跡し続ける必要がある。
重要領域・選択的	重要技術に関する調査は、 <u>対象領域・テーマの一定範囲に設定することで効果・効率性が高まる可能性がある</u> 。 ▶ 新興技術の探索・評価・投資・開発に関する米国防高等研究計画局 (DARPA) の成功は、軍事関連 (米国の軍事的優位性に係る技術) という領域設定があったと考えられる ³² 。

論点③ 領域・テーマの設定方法

- 上記の対象となる技術領域・テーマの設定方法について、トップダウンによるもの (政策サイドの指定)、ボトムアップによるもの (シンクタンク自らによる設定)、の双方が考えられる。
 - ▶ ある政府系シンクタンクでは、政策ニーズに基づくトップダウンでのテーマ設定と研究者によるボトムアップでのテーマ設定は半々程度である³³。
- 本報告書の提言パート「4.『安全・安心に関するシンクタンク』への提案事項」では、トップダウンとボトムアップの双方による設定を前提に検討を行った。

論点	根拠や備考
トップダウン	シンクタンク=インテリジェンスだとすれば、トップダウンでの設定が原則。その際、 <u>政策サイドのリクワイアメントやニーズ確認の機会が不可欠</u> である。
ボトムアップ	本来のシンクタンクの <u>あるべき姿 (自ら重要な課題を設定する等)</u> からすれば、シンクタンクが自ら重要な領域・テーマを設定することが望ましい (そうでなければ、単なる委託先)。

³¹ 先端技術全般のインタビュー等より。

³² 先端技術全般のインタビュー等より。

³³ 先端技術全般のインタビュー等より。

3-2. 技術評価のプロセス・体制の各論

本調査では、重要技術を評価する際の情報収集（技術動向の把握・探索的調査）、解析・分析（重要度評価・絞り込み）、人材育成（必要な体制・要員・ケイパビリティ）の研究機関や専門家の現状や留意点を確認した。

表 12 技術評価のプロセス・体制の各論：主な調査結果と示唆

機能		主な調査結果	示唆
情報収集 (技術動向の把握・探索的調査)	公開情報の収集	<ul style="list-style-type: none"> 公開情報による技術動向の把握・探索的調査の情報源は、ジャーナル（採択前原稿を含む）、カンファレンスや学会、特許動向、政策・出資動向等。 ジャーナル（採択前原稿を含む）に掲載される情報は、<u>デイリーもしくはウィークリーでの収集が望ましい分野がある</u>。中長期的な傾向は、単純量のみならず、インパクトファクタや影響力のあるトップジャーナルの傾向も重要。 最先端の技術・研究の初期掲載先が <u>ジャーナル志向か、カンファレンス志向かは研究分野により異なる</u>。 カンファレンスは <u>トップカンファレンスのみならず、ニッチ（一点特化）カンファレンスでも重要な場合がある</u>。 	<ul style="list-style-type: none"> 技術分野（分野内でも細分化の可能性あり）ごとに最先端の情報が集約される情報源（カンファレンス、ジャーナル等）の特定。 自動的・機械的な情報収集プロセスやデータベースの構築。
	非公開情報の収集	<ul style="list-style-type: none"> 非公開情報の収集先として、異分野の研究者との交流を含む <u>人的ネットワーク、関係者や自らが企画するクローズドのミニカンファレンスやセッション（その後の人的交流）等</u>。 こうしたコミュニティに入るには、当該分野に関する知的蓄積や理解は不可欠であり、数年ではなくより長期（10年超）なキャリアが必要。 	<ul style="list-style-type: none"> 一定以上のキャリアの専門家の確保（内部人材、外部人材）。

機能	主な調査結果	示唆
解析・分析（重要度評価・絞り込み）	「2-1. 技術評価の観点」を参照。	「2-1. 技術評価の観点」を参照。
人材育成（必要な体制・要員・ケイパビリティ）	<ul style="list-style-type: none"> • 組織的に技術動向把握を行う機関等は、<u>目的や機能（情報収集、解析・分析）に応じて専門家を確保し、体制を構築。</u> • <u>情報収集フェーズは別として、解析・分析フェーズでは、複数の専門家による視点・観点が取り入れられる仕組みが多かった。</u> • 内部で確保できない人材については、<u>外部の専門家（例：技術専門家パネルの設置等）で補完し、情報収集や解析・評価を行う組織あり。</u> 	<ul style="list-style-type: none"> • 情報収集及び解析・分析フェーズで異なる要件の内部人材の確保。 • 外部専門家との連携による補完。
ネットワーク構築	<ul style="list-style-type: none"> • 多くの専門家・研究機関が、非公開情報の収集のためのネットワーク構築の重要性を指摘。 • ネットワーク構築の手法については、①自らが<u>既存のコミュニティ</u>に入り、情報の等価交換を行うことが基本となるが、②自ら<u>小規模なネットワークやコミュニティを主催</u>することもあり得る。 • ネットワークを<u>構築・維持するための専門的知見</u>（自らが第一線級の専門的な議論ができる等）や人的繋がりやネットワークの<u>履歴やデータベース化</u>が重要。 	<ul style="list-style-type: none"> • 自らによるコミュニティ創造（セッション等の企画）。 • ネットワーク構築・維持のための専門的知見の確保。 • 人的ネットワークの可視化・データベース化。

出典：インタビューを基に KGRI 作成。

3-2-1. 情報収集（技術動向の把握・探索的調査）

3-2-1-1. 公開情報の収集

- 公開情報による技術動向の把握・探索的調査については、ジャーナル（採択前原稿を含む）、カンファレンスや学会、特許動向、政策・出資動向等が挙げられた。
- ジャーナル（採択前原稿を含む）に掲載される情報は、デイリーもしくはウィークリーでの収集が望ましい分野がある。中長期的な傾向は、単純量のみならず、インパクトファクタや影響力のあるトップジャーナルの傾向も重要。
- 最先端の技術・研究の初期掲載先がジャーナル志向か、カンファレンス志向かは研究分野により異なる。
 - 【量子】量子はインターディシプリナリであるため、詳細領域により微妙に異なる。例えば、物理学については、ジャーナル・ペーパーはもちろん、採択前原稿の確認はデイリー、ウィークリーで収集。国際会議は発表・ポスターも示唆的。他方、コンピュータ科学はやや毛色が異なり、採択率の低い国際会議はステータスが高いため、ここに最先端の情報が集まる³⁴。
 - 【先端半導体等】組織のアーリーステージ研究も多くは外部の動向を踏まえたもの。完全なオリジナルはプロジェクト全体の半分以下だろう。外部については、国際学会の中でもトップカンファレンスでの報告、他研究者との情報交換でシーズのひらめきがある³⁵。
- カンファレンスはトップカンファレンスのみならず、ニッチ（一点特化）カンファレンスでも重要な場合がある。
 - 【サイバー】RSA カンファレンス、テルアビブの CyberTech が2大トップカンファレンス。ただし、これらはジェネラルなサイバーセキュリティであって、一点特化（Web3.0 や生成 AI 等）のセキュリティではない。ブロックチェーン等の、サイバーセキュリティがメインではないカンファレンスに良いセキュリティセッション（尖った内容のセッション等）が設置されることもある³⁶。
- その他の公開情報としては、民間企業の出資・M&A の状況等も、先端技術分野を特定する上で重要な情報源となる。

³⁴ 先端技術全般のインタビュー等より。

³⁵ 先端技術全般のインタビュー等より。

³⁶ サイバーセキュリティ関連のインタビュー等より。

3-2-1-2. 非公開情報の収集

- 非公開情報の収集として、異分野の研究者との交流を含む人的ネットワーク、関係者や自らが企画するクローズドのミニカンファレンスやセッション（その後の人的交流）等が挙げられた。こうしたコミュニティに入るには、当該分野に関する知的蓄積や理解は不可欠であり³⁷、数年ではなくより長期（10年超）なキャリアが必要。一見の会議参加者には重要な情報がシェアされることは少ない。長期にわたって参加することで信頼が得られると共有されるディープな情報がある。セキュリティ・クリアランスはそれを制度的に短縮する措置ともいえる。
 - **【量子】【先端半導体】【食料安全保障】** 政府関係者や研究者自らが、自ら（小さな又はクローズドの）セッションをオーガナイズし、非公式なコミュニケーションを通じて情報収集する³⁸。
 - **【先端半導体】** 他研究者との情報交換で技術シーズに関するひらめきがある³⁹。
 - **【サイバー】** サイバーセキュリティ業界は人材流動性が高く、新しいソリューションは過去の取引や協業関係等に由来することが少なくない⁴⁰。
 - **【サイバー】** 新興テック企業の M&A に当たっては、自社のサイバーセキュリティビジョンを補完できるような、技術やタレントを評価する⁴¹。
 - **【LiDAR（光検出と測距）】** クローズドな世界で人的ネットワークを駆使して最新情報を得ている。Consumer Technology Association 主催の電子機器の見本市 CES で非公式な情報交換を行う⁴²。

3-2-2. 解析・分析（重要度評価・絞り込み）

本報告書「2. 調査結果：技術評価の視点」に記載の通り。

³⁷ 先端技術全般のインタビュー等より。

³⁸ 先端技術全般のインタビュー等より。

³⁹ 先端技術全般のインタビュー等より。

⁴⁰ サイバーセキュリティ関連のインタビュー等より。

⁴¹ サイバーセキュリティ関連のインタビュー等より。

⁴² 先端技術全般のインタビュー等より。

3-2-3. 人材育成（必要な体制・要員・ケイパビリティ）

本調査では、組織的に技術動向把握を行う機関等が目的や機能（情報収集、解析・分析）に応じて専門家を確保し、体制を構築していることを確認した。情報収集フェーズは別として、解析・分析フェーズでは、複数の専門家による視点・観点を取り入れる仕組みを構築していた。また内部で確保できない人材については、外部の専門家と連携し、情報収集や評価を行う組織もあった。

<組織的に技術動向把握を行う機関等の専門家へのインタビュー結果>

- 【民間企業】博士号を持ち、社会課題解決に意欲のある若い研究者（外部の協力者）が常時継続的に、データベースを活用してジャーナル等の動向把握を行う。複数分野のトップ専門家で構成されるサイエンティフィックボードで技術等の評価を行う。ボード構成員のネットワークをたどられれば、一次・二次の繋がりで関連する分野の世界トップ専門家にアクセスできる状態を構築している⁴³。
- 【民間企業】自組織に研究所があるため、インハウスの常勤研究者が常時継続的に動向把握を行う。状況に応じて、ハイレベルのボードで評価・判断を行う⁴⁴。
- 【民間企業】サイバーセキュリティ関連スタートアップ企業への M&A では、自社の中長期ビジョンに照らし合わせて、技術やタレントの評価を行う。体制は、少人数の M&A 専任チームが主導するが、事業部門幹部と協議しながら進める⁴⁵。
- 【政府系シンクタンク】重視している研究領域（計 4 分野）でそれぞれ、研究動向を俯瞰できる専門家（エンジニア、科学者等）10 人弱の体制を確保しているが、体制的には不十分かもしれない。技術評価の方法は研究領域ごとに異なる。各研究領域の下位カテゴリーごとに担当（専門家）を割り振るケースもあれば、複数の専門家の合意形成を通じて研究領域全体としての技術評価を行うケースもある⁴⁶。
- 【政府系シンクタンク】純粋な研究者のみならず、プロジェクトマネージャのような立場の要員も必要。プロジェクトマネージャの候補としては、第一線を退いた研究者・科学者のセカンドキャリアのような位置付けもありえる⁴⁷。

⁴³ 先端技術全般のインタビュー等より。

⁴⁴ 先端技術全般のインタビュー等より。

⁴⁵ サイバーセキュリティ関連のインタビュー等より。

⁴⁶ 先端技術全般のインタビュー等より。

⁴⁷ 先端技術全般のインタビュー等より。

3-2-4. ネットワーク構築

本調査では、情報収集や解析・分析段階におけるネットワーク構築の重要性を確認した。ネットワーク構築の手法については、①既存のコミュニティに入り、情報の等価交換を行うことが基本となるが、②自ら小規模なネットワークやコミュニティを主催することもあり得る。その際、ネットワークを構築・維持するための専門的知見（自らが第一線級の専門的な議論ができる等）や人的繋がりを含むネットワークの履歴やデータベース化も重要である。

- 技術の解析・分析に当たって連携した外部の専門家はトラッキングレコードを作成し（公開情報からの専門性に加えて、どのような案件で技術評価を依頼したのか、コミットメント度等）、管理することが重要に⁴⁸。
- ネットワーク構築のために専門家コミュニティ（学会等）に入る場合、最低限のナレッジや理解は必須⁴⁹。
- DARPA のプロジェクトマネージャは小規模な学会をオーガナイズし、若い研究者を集め、プログラムディレクターと科学者が非公式の場で情報交換し、互いの問題意識を共有する⁵⁰。
- 基礎研究はシーズを求めて研究しているわけではない。情報収集は、自分が仮説を持つ範囲、既知である範囲内で見ている。他方、全く異なる分野の話をしている時にアイデアが浮かぶことがある⁵¹。
- サイバーセキュリティ業界は人材流動性が高く過去の取引や協業関係等の人的ネットワーク経由で最新情報が入る⁵²。

⁴⁸ 先端技術全般のインタビュー等より。

⁴⁹ 先端技術全般のインタビュー等より。

⁵⁰ 先端技術全般のインタビュー等より。

⁵¹ 先端技術全般のインタビュー等より。

⁵² サイバーセキュリティ分野のインタビュー等より。

3-3. サイバーセキュリティと食料安全保障の個別の留意点

本調査では、サイバーセキュリティ及び食料安全保障分野における重要技術評価のプロセスや体制の留意点を確認した（「解析・分析」は、本報告書「2. 調査結果：技術評価の視点」を参照）。

3-3-1. サイバーセキュリティ

情報収集

- 敵対者・脅威の存在を前提として、技術に関する研究動向のみならず、脅威の動向・TTPs、既存のサイバーセキュリティ対策ソリューションに関する情報収集が必要。
- 脅威の動向、TTPs、脆弱性、侵害情報はダークウェブ等の通常ではアクセスしにくい情報源が必要となる場合がある。
- サイバーセキュリティは脅威と対策の勃興が早く、大学や企業における基礎研究とは異なる時間軸での情報収集が期待される。

人材育成

- 技術とノウハウ・スキル（タレント）が不可分であることが多いため、サイバーセキュリティ関連技術を評価する際、評価する側もサイバーセキュリティ運用に関する一定のノウハウやスキルが期待される。

ネットワーク構築

- 研究者コミュニティのみならず、サイバーセキュリティ企業コミュニティ、ハッカーコミュニティでのネットワーク構築が必要とされる。
- サイバーセキュリティ企業は人材流動性が高いため、人的繋がりを含むネットワークの可視化や記録化が特に重要である。

3-3-2. 食料安全保障

情報収集

- 消費者がいるので、消費者・市場ベースの収集も必要。
- 肥料に代表されるように、先端技術ではないが、レガシー重要技術が多いため、レガシー重要技術の小さな発展にも留意する必要がある。
- 食料安全保障は、学際性・射程が広いことから、植物科学等の直接的な分野に留まらず、センシングに係わる物理学や自動化に係わる情報科学分野など、食料安全保障を支える幅広い分野で情報収集に当たる必要がある。

人材育成

- 技術とノウハウ・スキル（タレント）が不可分であることが多いため、食料安全保障分野の技術を評価する際、評価する側も農業等に関する一定のノウハウやスキルが期待される。また、食料安全保障を支える幅広い分野の技術を評価するためには、物理学やITなど他分野に素養のある人材も必要となる。

ネットワーク構築

- 幅広い分野で情報収集に当たる必要があることから、直接的な分野に絞らず、幅広い分野の研究者コミュニティにアプローチし、さらに食料は消費者がいて成立する分野であることから、食品を開発・提供する、企業コミュニティにおいてもネットワーク構築をする必要がある。

4. 「安全・安心に関するシンクタンク」への提案事項

本項では、調査結果を踏まえた「安全・安心に関するシンクタンク」への提案事項をまとめる。まず、全般事項としてシンクタンクに期待される事項を述べ、その上でシンクタンクにおける技術評価の基本的な考え方、体制、プロセス、評価の観点、留意点をまとめる。

全般：シンクタンクに期待される機能

本来、シンクタンクは、大学での研究活動とも、行政機関における政策立案・実施・評価とも異なる役割が期待されている。大学における研究活動は、真実の追究を至高の目標とし、研究上の問い（research question）を元に行われる。そこでは、先行研究との関係が重視され、一般的に「巨人の肩に乗る」と言われるように、積み上げ型の研究が行われる。リサーチ・クエスチョンへの答えが見つかるのは明日かもしれないし、数十年後かもしれない。答えが見つかったとしても、そこから新たなリサーチ・クエスチョンが生まれるという研究の連鎖が行われている。

行政機関においては、一年毎、あるいは数年をかけた計画を練り、それに基づいた予算を策定し、適切な執行を行うことを目標としている。無論、突発的な災害や紛争が起こり、緊急の対応を迫られることもある。予算を組み替えたり、新たな組織を作ったりということが年度内に急遽行われることもある。行政機関では、基本的には中長期の政策課題（policy question）に取り組むことになるが、必要に応じて短期的な政策課題にも取り組む。

シンクタンクは、短期・中期・長期のいずれの時間軸にも対応した政策課題に取り組む。しかし、その役割は、大学や行政機関とは異なる。同じであれば存在する価値がない。その役割は、大学や行政機関が対応しにくい課題に適時に対応することである。行政機関がいわゆる増分主義（incrementalism）や前例踏襲主義に陥りやすい中、シンクタンクはそれとは違う政策オプションを提示することが求められている。行政機関が自らの過去の政策を否定することは時に難しい。しかし、シンクタンクが代替案を提示し、それを政権が採用すれば、方向転換は比較的容易になるかもしれない。

あるいは、突発的な事案が生じ、短期間で政策的なオプションを検討しなくてはならない場合、そうしたオプションの提示・検討をシンクタンクが手伝うこともできるだろう。本来業務に忙殺されている行政機関に代わり、諸外国の事例を参照したり、前例のない取組の可能性を検討したりすることができるだろう。

こうしたシンクタンクの役割及び本調査の結果を踏まえて、「安全・安心に関するシンクタンク」における技術評価の位置付け・基本的な考え方、体制、評価プロセス、評価の観点、留意点に関する提案事項は以下の通りである。

4-1. シンクタンクにおける技術評価の位置付け・基本的な考え方

4-1-1. 「技術以外のアプローチによる課題解決」への留意

どのような課題や分野であれ、技術が全てを解決することは困難である。実際には、課題や分野に応じて、技術による解決の貢献度の高さは異なる。技術評価の視点を検討する前提として、課題や分野によっては技術以外の手段による解決の方が妥当である場合があることを認識する必要がある。その場合、新しい技術を評価し、重要な技術を特定することの意義は相対的に小さくなる。

様々な課題解決における技術以外の要素（例）は以下の通りである。

- ノウハウ、スキル
- データ、アルゴリズム
- コンセプト、アイデア
- 政策（支援や規制等）
- アーキテクチャ
- 市場
- 国際連携 等

シンクタンクにおける技術評価は、ある政策課題の解決において技術的要素もしくは非技術的要素が占める相対的重要性を評価し、認識することが重要である。

4-1-2. 技術評価 = インテリジェンス活動

シンクタンクにおける技術評価が中長期及び短期の政策課題に応えるものだとすれば、政府に重要技術・新興技術に関する投資判断・意思決定の材料を提供するという点で、シンクタンクにおける技術評価とはインテリジェンス活動である。そのため、シンクタンクはインテリジェンス機能・サイクルを構築する必要がある。

一般的なインテリジェンスサイクルは、カスタマーサイド（インテリジェンスの活用者）である政府の「情報要求（requirement）」ないし政策課題の設定に始まり、インテリジェンスサイド（インテリジェンスの生成者）であるシンクタンクにおける「計画・指示（planning & direction）」「情報収集（collection）」「情報処理（processing）」「解析・分析（analysis）」「成果創出（production）」、そしてカスタマーサイドへの「配布（dissemination）」から構成される。また、インテリジェンスサイクルの起点は通常、カスタマーサイドの情報要求であるが、シンクタンクという性質上、「シンクタンク独自の課題設定」もインテリジェンスサイクルの起点となりうるだろう。

インテリジェンスサイクルの各要素の詳細は以下の通りである。

- 「計画・指示」 …カスタマーの情報要求（及びシンクタンク独自での必要な課題

設定やテーマ設定)に基づき、重要技術に関する情報収集及び解析・分析の計画の策定・運営管理。課題解決における技術要素の見極め。

- 「情報収集」 …ジャーナル (採択前原稿を含む)、カンファレンスや学会、特許動向、政策動向、企業の出資・M&A 動向等の公開情報、異分野の研究者との交流を含む人的ネットワーク、関係者や自らが企画するクローズドのミニカンファレンスやセッション (その後の人的交流) 等の非公開情報の収集。
- 「情報処理」 …収集した情報の解析・分析に適した形への加工 (デジタル化や構造化を含む)。
- 「解析・分析」 …収集した技術情報の整理や評価。A. 技術そのものの性質、B. 技術の成熟度・実装までの時間軸、C. 技術がもたらすインパクト、D. ニーズサイドからの優先度からの重要度の評価。
- 「成果創出」 …カスタマーの情報要求に基づいた形でインテリジェンス (成果) を生成すること、レポート化。
- 「配布」 …インテリジェンス (成果) を必要な先に配布すること。

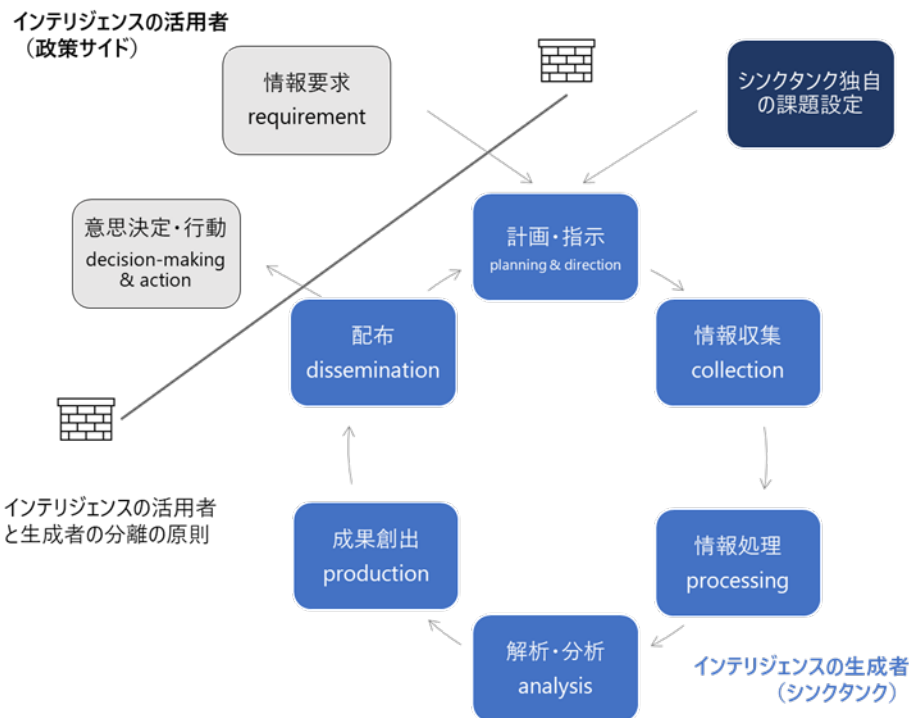


図 9 安全・安心に関するシンクタンクで期待されるインテリジェンスサイクル

出典： Iowa Department of Public Safety を基に、安全・安心に関するシンクタンクの機能を踏まえて修正。通常のインテリジェンスサイクルには図右上の「シンクタンク独自の課題設定」はないが、一般的にシンクタンクに期待される機能として追記した。なお、collection と analysis は「安全・安心に関するシンクタンクの基本設計」中の用語に置き換えた。

4-2. シンクタンクにおける技術評価のプロセス

こうしたインテリジェンスサイクルを安全・安心に関するシンクタンクにおける技術評価プロセスに当てはめると次の通りである。内閣府作成の「調査・分析フレームワーク」を踏まえて、「重要技術ロングリストの作成」(本報告書では単に「ロングリスト作成」)及び「重要技術の優先順位付け」(本報告書では「ショートリスト作成」)のため、解析・分析を2度、異なる観点で実施するものとしている。

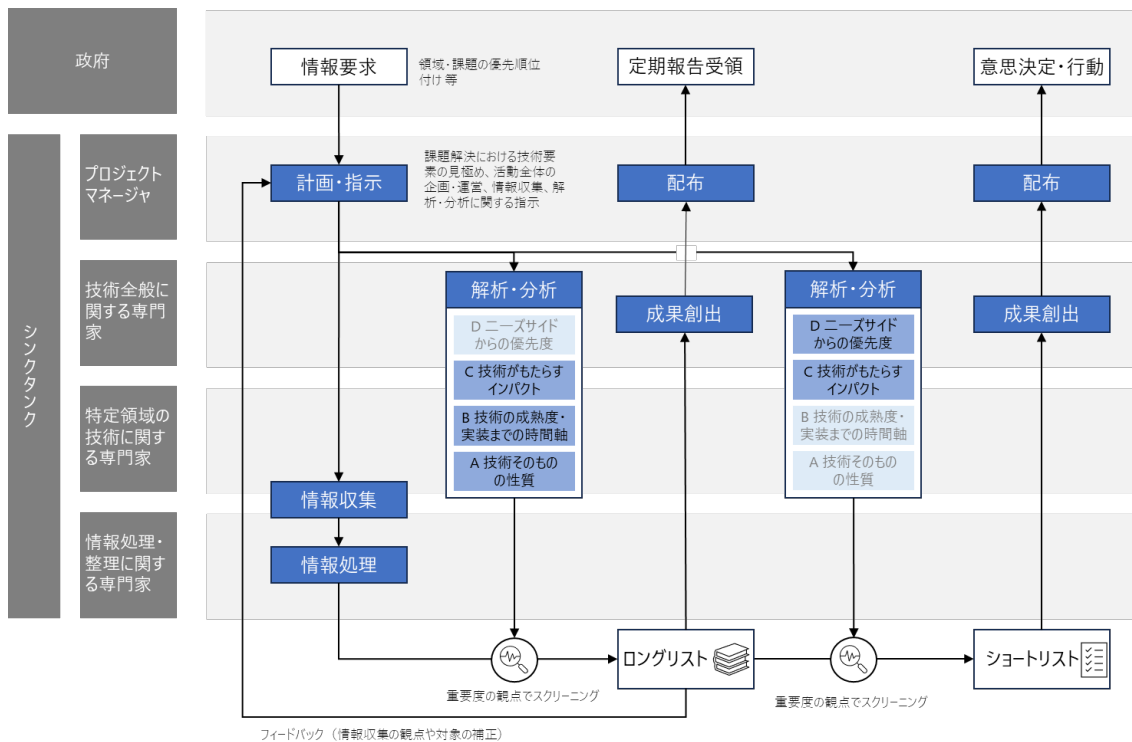


図 10 安全・安心に関するシンクタンクにおける技術評価プロセス (案)

出典：KGRI 作成。左側のシンクタンク内の内訳は次項の「技術評価の体制」で詳述。

4-3. シンクタンクにおける技術評価の体制

前述のインテリジェンスサイクルや技術評価のプロセスを運営し、質の高いアウトプットを創出するためには、異なる専門性・能力・スキル・コンピテンシーの人材が必要であると考える。少なくとも以下の専門の人材が必要である（バックオフィス人材は除く）。

- プロジェクトマネージャ …カスタマーサイドの政策ニーズや情報要求を理解し、インテリジェンスサイクル全般の運営、管理・監督、指示を行い、最終的な成果をカスタマーサイドに届ける人材。
- 技術手法・技術全般に関する専門家 …カスタマーサイドの政策ニーズや情報要求を踏まえて、技術探索や評価の方法論に精通し、新興・重要技術全般や技術政策を俯瞰して追跡・調査・研究できる人材。
- 特定領域の技術に関する専門家 …特定領域について、博士号と同等以上の学術的業績を有し、特定領域の技術動向（中長期の動向を含む）について俯瞰できる人材。
※ 全て領域でこのような専門家を確保できないので、GPT 関連（機械学習、量子、バイオ等）や設定した領域・テーマに絞る。
- 情報処理・整理等に関する専門家 …大量の技術情報を効率的・効果的に収集・整理等するために必要な知識やスキルを有する人材。
※詳細な要件は表 13 を参照。

上記のうち、特に「技術手法・技術全般に関する専門家」「特定領域の技術に関する専門家」が重要である。前者は探索的調査や評価の手法自体の専門家、後者は特定分野において第一線で先端研究を行っている専門家（実際に自らが議論できるレベルの専門家）である。後者は、コミュニティに入るためにも、トップカンファレンスの最先端動向を知らなければ評価ができない⁵³。しかし、トップレベルの研究能力を持つ者が、本来の研究活動ではなく、シンクタンクの活動に従事することは考えにくい。何らかの理由で研究活動は断念しながらも、先端研究の「目利き」ができる人材を確保する必要がある。

シンクタンク内部でこうした人材を確保できない場合や幅広い知見を得るため、外部専門家との連携という形で補完すべきであろう。外部専門家との連携は、前述の通り、評価手法そのものの専門家と特定分野における技術の専門家に大別される（表 14 を参照）。

こうした人材を、前述のインテリジェンスサイクルの構成要素に基づく役割に当てはめたものは表 15 の通りである。

⁵³ シンクタンク機能育成事業推進タスクチーム検討会（2024年2月13日）における有識者コメント。

表 13 技術評価を行うシンクタンクに期待される内部人材とその要件

分類	必要要件
プロジェクト マネージャ	<ul style="list-style-type: none"> • <u>カスタマーサイドの政策ニーズや情報要求（経済安全保障関連を含む）を理解できる。</u> • <u>ある政策課題の解決において技術的要素（または非技術的要素）が占める相対的重要性を評価できる。</u> • <u>カスタマー（政策サイド）に成果物を届け、コミュニケーションがとれる。</u> • 技術動向に関する情報収集、解析・分析、人材育成、ネットワーク構築の全般を監督・指示できる。 • 可能であれば、「技術全般に関する専門家」を経験している。
評価手法・技術全般の専門家	<ul style="list-style-type: none"> • <u>カスタマーサイドの政策ニーズや情報要求（経済安全保障関連を含む）を理解できる。</u> • <u>技術探索や評価の方法論に精通し、新興・重要技術全般や技術政策を俯瞰して、追跡・調査・研究できる。</u> • <u>自らが研究コミュニティに入って、ネットワークを構築できる。</u> • <u>当該組織で長期にわたって貢献するマインドを有し、そのようなキャリアパスを志向している。</u>
特定領域の技術の専門家	<ul style="list-style-type: none"> • <u>特定領域に関する学位を有し、自ら学術的成果を発信し、専門的コミュニティで議論ができる。</u> • <u>特定領域の技術動向（中長期の動向を含む）について俯瞰できる。</u> • <u>自らが研究コミュニティに入って、ネットワークを構築できる。</u> • <u>当該組織で長期にわたって貢献するマインドを有し、そのようなキャリアパスを志向している。</u> <p>※全て領域でこのような専門家を確保できないので、GPT 関連（機械学習、量子、バイオ等）や設定した領域・テーマに絞る。</p>
情報処理・整理等の専門家	<ul style="list-style-type: none"> • <u>自動・機械的処理、情報整理・ライブラリ、データサイエンス等の専門性を有している。</u> • <u>技術関連のスケールのある収集を機械的に収集し、整理できる。</u>

※ここでいう「専門家」は、大学等のアカデミアとは異なる成果が期待される。シンクタンクの活動が研究活動と最も異なる点は、研究上の問い（research question）ではなく、政策上の問い（policy question）に答えることである。シンクタンクのミッションは、国の内外に現れる政策課題にタイムリーに提言を出していくことであり、時間をかけて因果関係を究明することでは必ずしもない。

出典：インタビュー等の調査結果を踏まえて KGRI 作成。

表 14 技術評価を行うシンクタンクが外部から補完すべき専門的人材とその要件

分類	必要要件
探索・評価手法の外部専門家	<ul style="list-style-type: none"> 世界トップクラスで、<u>技術探索や評価の方法論に精通</u>している。 技術の探索や評価に当たって、<u>バイアスを極小化する方法論やマネジメントに精通</u>している。
特定領域技術の外部専門家	<ul style="list-style-type: none"> 特定技術領域において、<u>世界トップクラスの専門性を有する</u>。 個人として、特定技術領域に関する<u>全世界のトップティアの専門家や研究機関とネットワークを有する</u>。

出典：インタビュー等を踏まえて KGRI 作成。

表 15 インテリジェンスサイクルにおける各人材の役割 (案)

	シンクタンク内部				シンクタンク外部	
	プロジェクトマネージャ	評価手法・技術全般の専門家	特定領域の技術の専門家	情報処理・整理等の専門家	探索・評価手法の外部専門家	特定領域技術の外部専門家
①計画・指示	◎	◎			◎	
②情報収集	○	◎	◎	◎	◎	
③情報処理		○	○	◎		
④解析・分析		◎	◎	◎		◎
⑤成果創出	○	◎	○			
⑥配布	◎	○	○			

出典：KGRI 作成。凡例：◎主として担う、○担う。

4-4. シンクタンクにおける技術評価の観点と留意点

本調査では、諸外国の研究機関等による取組やインタビュー調査を通じて、技術分野全般に関する技術評価の観点として4点（A. 技術そのものの性質、B. 技術の成熟度・実装までの時間軸、C. 技術がもたらすインパクト、D. ニーズサイドからの優先度）を整理した。また、サイバーセキュリティと食料安全保障を例に特定技術分野における評価の留意点をまとめた。こうした調査を踏まえて、シンクタンクにおける技術評価の観点も、①4つの観点を含む技術評価、②主要分野における留意点を構築することが望ましい。

4-4-1. 「ロングリスト」「ショートリスト」作成時で異なる評価の観点

内閣府作成の「調査・分析フレームワーク」⁵⁴を踏まえて「ロングリスト」「ショートリスト」を作成する場合、その目的に応じて、必要な技術評価の軸を設定すべきである。

表 16 「ロングリスト」「ショートリスト」の概要と評価軸の構成要素

		ロングリスト	ショートリスト
目的		カスタマーサイド（政策サイド）への科学技術動向の定点報告	カスタマーサイド（政策サイド）への意思決定判断の材料、政策オプションの提示
概要		これまでの科学的蓄積に基づき、一定領域における注目すべき技術動向をまとめたもの。	ロングリスト掲載の技術から、政策判断のために評価・絞り込み・特定したもの。
評価軸	A 性質	✓	
	B 成熟度	✓	
	C インパクト	✓	✓
	D 優先度		✓
備考		対象とする技術領域は、カスタマーサイドの情報要求・政策ニーズを踏まえるが、個々の技術評価には反映されない。	カスタマーサイドの情報要求・政策ニーズを踏まえ、個々の技術の評価する。

出典：インタビュー等を踏まえて KGRI 作成。

⁵⁴ 内閣府 科学技術・イノベーション推進事務局「シンクタンク設立準備の進捗状況について」安全・安心シンクタンク運営ボード（第1回）資料2（2023年12月13日）、6頁。

https://www8.cao.go.jp/cstp/anzen_anshin/thinktank/unei/1kai/1kai.html

4-4-2. 「C. 技術がもたらすインパクト」：経済安全保障上のインパクト評価を重視

「C. 技術がもたらすインパクト」は非常に広範な影響評価が含まれるため、評価の焦点を絞る必要がある。①市場ベースや民間セクターでの技術評価、②他の政府系シンクタンクとの役割分担・差異化を踏まえると、ショートリスト作成時の技術評価は（経済）安全保障上のインパクト評価を重視すべき。

ただし、「経済安全保障」は多義的かつ曖昧な概念であるため、政策サイド及びシンクタンク内で、技術評価における「経済安全保障上のインパクト」の観点を具体化すべき（以下は具体化の例）。

表 17 「経済安全保障上のインパクト」のより具体的な観点

具体化の観点	概要
狭義の安全保障（軍事的優位性）への貢献	軍事分野での応用可能な技術、「新たな作戦領域」「戦闘領域」（宇宙・サイバー・電磁波・認知領域等）へのアクセス・状況認識・対処に関する技術。
危機対応への貢献	自然災害や感染症の発生時、その他要因による物資（食料、エネルギー、医薬品）の供給途絶時の危機対応に貢献できる技術。
長期的な国家間競争への貢献	GPT 技術（AI、量子、バイオ等）、既存の産業競争力全般（半導体等）に関する技術。

出典：KGRI 作成。

参考文献一覧

Breuer, P., (2023) *Introduction to the DISARM Frameworks*. Available at: https://www.wto.org/library/events/event_resources/sps_1411202310/329_1130.pdf (Accessed: February 19, 2024).

Department for Business, Energy & Industrial Strategy (2021) *Methodology to Identify Emerging Technologies with UK Commercialisation Potential: Technical annex to the UK Innovation Strategy*. Available at: <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/615d99f88fa8f529834947d1/methodology-to-identify-emerging-tech-with-uk-commercialisation-potential.pdf> (Accessed: February 19, 2024).

Dortmans, P., Nicholson, J., Yeung, J., Black, J., Dewaele, L. and Knack, A. (2022) *Prioritising Critical Technologies of National Interest in Australia: Developing an Analytical Approach*. Available at: https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_reports/RRA1500/RRA1534-1/RAND_RRA1534-1.pdf (Accessed: February 19, 2024).

European Commission (2023) *Commission recommends carrying out risk assessments on four critical technology areas: advanced semiconductors, artificial intelligence, quantum, biotechnologies*. Strasbourg: Available at: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_4735 (Accessed: February 19, 2024).

European Innovation Council (2022) *Identification of Emerging Technologies and Breakthrough Innovation*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Available at: <https://eic.ec.europa.eu/system/files/2022-02/EIC-Emerging-Tech-and-Breakthrough-Innov-report-2022-1502-final.pdf> (Accessed: February 19, 2024).

FAO's Agriculture and Development Economics Division (2006) *Food Security*. Available at: https://www.fao.org/fileadmin/templates/faoitally/documents/pdf/pdf_Food_Security_Cocept_Note.pdf (Accessed: February 19, 2024).

Gaida, J., Wong-Leung, J., Robin, S., and Cave, D., (2023) *ASPI's Critical Technology Tracker: The Global Race for Future Power*. Available at: https://ad-aspi.s3.ap-southeast-2.amazonaws.com/2023-08/ASPIs%20Critical%20Technology%20Tracker.pdf?VersionId=nVmWySgLSX2FMaS1U.uQVgQvvd_W427G (Accessed: February 19, 2024).

Gartner, Inc. (2018) *Understanding Gartner's Hype Cycles*. Available at: <https://www.gartner.com/en/documents/3887767> (Accessed: February 19, 2024).

Gartner, Inc. *Gartner Hype Cycle*. Available at: <https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle> (Accessed: February 19, 2024).

International Organization for Standardization (2022) *BS ISO/IEC 27001:2022: Information security, cybersecurity and privacy protection. Information security management systems. Requirements*. Available at: <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso-iec:27001:ed-3:v1:en> (Accessed: February 19, 2024).

Iowa Department of Public Safety *The Intelligence Production Cycle*. Available at: <https://dps.iowa.gov/divisions/intelligence/intel-cycle> (Accessed: February 19, 2024).

Manning, C., (2023) *Technology Readiness Levels*. Available at: <https://www.nasa.gov/directorates/somd/space-communications-navigation-program/technology-readiness-levels/> (Accessed: February 19, 2024).

外務省 (2020) *日本と世界の食料安全保障*. Available at: <https://www.mofa.go.jp/mofaj/files/000022442.pdf> (Accessed: February 19, 2024).

ガートナー・ジャパン株式会社 (2023) *Gartner, 「日本における未来志向型インフラ・テクノロジーのハイプ・サイクル：2023年」* を発表. Available at: <https://www.gartner.co.jp/ja/newsroom/press-releases/pr-20230817> (Accessed: February 19, 2024).

ガートナー・ジャパン株式会社 *ガートナー ハイプ・サイクル*. Available at: <https://www.gartner.co.jp/ja/research/methodologies/gartner-hype-cycle> (Accessed: February 19, 2024).

自由民主党 政務調査会 新国際秩序創造戦略本部 (2021) *新国際秩序創造戦略本部 中間取りまとめ ～「経済財政運営と改革の基本方針 2021」に向けた提言～*. Available at: https://storage2.jimin.jp/pdf/news/policy/201648_1.pdf (Accessed: February 19, 2024).

総務省 (2019) *令和元年版情報通信白書*. Available at: <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/r01.html> (Accessed: February 19, 2024).

内閣官房 (2021) 「経済安全保障の推進に向けて」第1回経済安全保障推進会議資料3.
Available at: https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/keizai_anzen_hosyo/dai1/shiryous3.pdf
(Accessed: February 19, 2024).

内閣府 科学技術・イノベーション推進事務局 (2023a) 「シンクタンク設立準備の進捗状況について」安全・安心シンクタンク運営ボード(第1回)資料2. Available at: https://www8.cao.go.jp/cstp/anzen_anshin/thinktank/unei/1kai/siryos2.pdf (Accessed: February 19, 2024).

内閣府 科学技術・イノベーション推進事務局 (2023b) 安全・安心に関するシンクタンクの基本設計(概要). Available at: https://www8.cao.go.jp/cstp/anzen_anshin/gaiyos.pdf (Accessed: February 19, 2024).

農林水産省 食料安全保障とは. Available at: <https://www.maff.go.jp/j/zyukyu/ampo/1.html> (Accessed: February 19, 2024).

別紙 1 技術評価の視点の例

- 適用範囲： 技術評価の視点が適用可能な技術分野（技術全般、サイバーセキュリティ、食料安全保障）
- KGRI 分類： KGRI で「技術評価の視点」を分類したもの。凡例は以下の通り。
 - A. 技術そのものの性質
 - B. 技術の成熟度・実装までの時間軸
 - C. 技術がもたらすインパクト
 - D. ニーズサイドからの優先度
- 出典上の記載： 出典に記載の表現。ただし、分類レベルは統一されていない。

No.	適用範囲	評価の観点			概要・備考	出典
		KGRI 分類	出典上の記載			
			分類 1	分類 2		
1	技術全般	B	技術実装の時間軸		即時、エマージング、長期	文献調査 (豪 RAND)
2	技術全般	A	技術そのものの性質・インパクト	破壊性 (disruptive)	ゲームチェンジング技術、既存のアプローチを全面的に見直す必要性	文献調査 (豪 RAND)
3	技術全般	A	技術そのものの性質・インパクト	相互影響性 (converging)	組み合わせることで新規の効率性と機会を創出	文献調査 (豪 RAND)
4	技術全般	A	技術そのものの性質・インパクト	新興性 (emerging)	初期段階で注目されている技術、イノベーションの創出と重要なセクターへの利益を提供	文献調査 (豪 RAND)
5	技術全般	A	技術そのものの性質・インパクト	アクセスの確実性と主権能力 (enduring access and sovereign capability)	国内に存在する重要技術もしくは信頼できるパートナーへのアクセスの確保	文献調査 (豪 RAND)
6	技術全般	D	技術開発の成功要因 (critical success factors)	サプライチェーン (supply chain)	重要技術をサポートするための強靱なサプライチェーン	文献調査 (豪 RAND)

国内外の技術動向調査
(慶應義塾大学 KGRI)

No.	適用範囲	評価の観点		概要・備考	出典	
		KGRI 分類	出典上の記載			
			分類 1			分類 2
7	技術全般	D	技術開発の成功要因 (critical success factors)	国内基盤 (national base)	インフラや十分なスキルと規模の労働力	文献調査 (豪 RAND)
8	技術全般	D	技術開発の成功要因 (critical success factors)	リソースの活用 (resource utilization)	国家の資源の効率的かつ効果的な活用	文献調査 (豪 RAND)
9	技術全般	D	技術開発の成功要因 (critical success factors)	長期的な持続可能性 (long-term sustainability)	初期の政策や投資の終了後の持続的サポート	文献調査 (豪 RAND)
10	技術全般	D	技術開発の成功要因 (critical success factors)	主権的な利益 (sovereign interest)	短期的には国家経済利益、長期的には成功に向けた立ち位置の最大化	文献調査 (豪 RAND)
11	技術全般	C	技術開発の成功要因 (critical success factors)	国際的な影響力 (international leverage)	国際的なパートナーと関与する際の重要技術の活用と、国際環境における優位な立ち位置の促進	文献調査 (豪 RAND)
12	技術全般	C	技術開発の成功要因 (critical success factors)	社会的な利益 (social benefit)	全国民の生活水準の維持ないし向上	文献調査 (豪 RAND)
13	技術全般	C	国益への影響	経済的繁栄	新規市場、既存市場への影響	文献調査 (豪 RAND)
14	技術全般	C	国益への影響	安全保障	脅威の創出や悪用、対応能力の低下	文献調査 (豪 RAND)
15	技術全般	C	国益への影響	社会的安定性	国家の安定への寄与、即座の利益もしくは課題をもたらす潜在性、長期的には社会的、生活様式の変容に影響	文献調査 (豪 RAND)

No.	適用範囲	評価の観点			概要・備考	出典
		KGRI 分類	出典上の記載			
			分類 1	分類 2		
16	技術全般	D	外部環境における重要性	政策思考の予測 (policy-oriented foresight)	外部環境予測・シナリオ (Forward 2035, Australian National Outlook 2019, Australian 2030 等) における重要性・親和性	文献調査 (豪 RAND)
17	技術全般	D	政策観点からの評価	政策的ニーズからの優先順位付け	政府の具体的な政策優先事項から、分野別及び／又は分野横断的な技術リストの導出	文献調査 (豪 RAND)
18	技術全般	D	政策観点からの評価	リスクと機会	一貫した方法で価値を獲得するリスク／機会の観点から、技術の優先順位の見直し	文献調査 (豪 RAND)
19	技術全般	D	政策観点からの評価	実行可能な政策オプション	実行可能な技術的選択枝の長所と限界の特定、技術的選択枝の決定	文献調査 (豪 RAND)
20	技術全般	D	政策観点からの評価	国益にとっての優先順位付け	確立された基準に照らしての技術評価、国益観点での最重要技術の決定	文献調査 (豪 RAND)
21	技術全般	B		民間セクターの資金投入高		文献調査 (英 BEIS)
22	技術全般	B		公的セクターの資金投入高		文献調査 (英 BEIS)
23	技術全般	B		成熟度 (TRL)		文献調査 (英 BEIS)
24	技術全般	B		技術実装の時間軸	短期 (1~2年)、中期 (3年~5年)、長期 (6年超)	文献調査 (英 BEIS)

国内外の技術動向調査
(慶應義塾大学 KGRI)

No.	適用範囲	評価の観点			概要・備考	出典
		KGRI 分類	出典上の記載			
			分類 1	分類 2		
25	技術全般	C		影響を受ける産業セクター数		文献調査 (英 BEIS)
26	技術全般	C		影響を受ける「メガトレンド」の数		文献調査 (英 BEIS)
27	技術全般	A		技術の先進性	画期的な性質と強力な科学的要素	文献調査 (欧 EIC)
28	技術全般	C		社会への影響	将来の市場やセクターの最先端に EU を位置付ける可能性	文献調査 (欧 EIC)
29	技術全般	C		市場への影響	将来の市場やセクターの最先端に EU を位置付ける可能性	文献調査 (欧 EIC)
30	技術全般	B		成熟度 (TRL)	TRL1-4: 新興技術研究の初期段階、 TRL4-6: 技術と商業化のビジネスプラン開発の成熟期、 TRL5.6-9: イノベーションの開発と商業規模の拡大	文献調査 (欧 EIC)
31	技術全般	C		技術の可能性と変革性	技術が性能や効率の大幅な向上やセクターや能力などの根本的な変化をもたらす可能性と関連性	文献調査 (欧 EC)
32	技術全般	C		民間と軍事の融合のリスク	技術が民間と軍事の両セクターに関連し、両方の領域を前進させる可能性や、ある技術の使用が平和と安全を損なうリスク	文献調査 (欧 EC)

No.	適用範囲	評価の観点			概要・備考	出典
		KGRI 分類	出典上の記載			
			分類 1	分類 2		
33	技術全般	C		人権侵害での悪用の恐れ	技術が人権を侵害する可能性のリスク (技術が人権を侵害する形で悪用される可能性や、基本的な自由を制限することを含む人権の侵害)	文献調査 (欧 EC)
34	技術全般	C		先進性	将来市場への影響度等	インタビュー調査
35	技術全般	A		多義性	汎用性、特に軍事利用のデュアルユース性等	インタビュー調査
36	技術全般	D		自律性	海外への依存度等	インタビュー調査
37	サイバー	C		(技術を活用できる) 人材基盤	技術を活用できるノウハウ・スキルをもった人材の多寡	インタビュー調査
38	サイバー	D		コンセプト (技術によって実現可能な対策の影響度)	技術が実現しようとするサイバーセキュリティ対策の新規性 (例えば、「ゼロデイを検出する」(FireEye社) や「攻撃者を特定する」(CrowdStrike社) 等の一見意味不明瞭であったり、常識を覆したりするようなコンセプトが採否の判断)	インタビュー調査
39	食料安保	C	代替タンパクや新規の食用生産物の評価軸	生産性	単収 (規模拡大性)、資源投入量、原料変換率	インタビュー調査
40	食料安保	C	代替タンパクや新規の食用生産物の評価軸	市場性	タンパク量、おいしさ、抵抗感、価格	インタビュー調査

No.	適用範囲	評価の観点			概要・備考	出典
		KGRI 分類	出典上の記載			
			分類 1	分類 2		
41	食料安保	C	代替タンパクや新規の食用生産物の評価軸	安全性	評価の前提となるもの（安全性に関する懸念があれば、他の観点で高評価であっても、一般消費者には受け入れられない）	インタビュー調査
42	食料安保	C		国際ルールメイキングの可能性	ISO等の標準化の可能性	インタビュー調査
43	食料安保	C	食料安全保障への貢献	生産性の向上	食料自給率の改善幅等	インタビュー調査
44	食料安保	C	食料安全保障への貢献	備蓄の拡大	備蓄期間の長期化等	インタビュー調査
45	食料安保	C		多様な食事・食材への代替性	人は毎日、同じ食事・食材を食べ続けることは難しいため、新たな代替食品がどの程度、既存の食事・食材を代替できるかが重要	インタビュー調査

別紙2 シーズ技術や注目されている技術の例

- 作成日: 2024年2月4日
- 以下の技術の例は本調査を通じて特定されたものであり、当該分野において注目すべき技術を網羅的・体系的に記載したものではない。
- 技術の記載粒度は異なり、記載された技術が相互に重複する可能性がある。

サイバーセキュリティ

技術名	概要
LLM (Large Language Model) ファイアウォール	生成 AI 利活用之际に生じる脅威に対応する技術・アプリケーション。例えば、①プロンプトインジェクションの防止、②生成された回答が安全なものか LLM で判定する機能、③脅威インテリジェンスに関する機能など。
AI モデル作成のための PETs (Privacy Enhancing Technologies)	AI モデルを作成する際にデータを匿名化する技術の総称。差分プライバシー、統合分析、準同型暗号、秘密分散、ゼロ知識証明の組み合わせ。
生成 AI を活用したセキュリティ担当者の支援技術	脆弱性情報の要約・正規化・評価、コーディング作業、攻撃者が送るコマンドの解読作業などの自動化。悪意のあるメッセージやログの探知精度の向上。
認知戦に対する防御ツール	異変の検知、誤情報・偽情報に対するファクトチェック機能をもったソフトウェア。
感情分析 AI	人間の感情を分析・模倣できる AI。また、音声や身体動作から感情を読み取る AI。他方、SNS が API を提供しない傾向から、クローリングによるビッグデータの確保が難しいため、ソーシャルメディアにおける心理情動分析 AI の実現は困難の可能性あり。認知戦などで活用される可能性。
RISK-V に利用可能な TEE	トラステッドな実行環境 (Trusted Execution Environment: TEE)、強く保護されたハードウェアの技術。次世代の物は低レイヤーのソフトウェアとの組み合わせが想定される。活用例として、鹵獲されたドローンからの機密情報流出を防ぐこと。RISK-V は組み込み系や IoT で用いられているオープンソースの CPU。

技術名	概要
暗号化保持のための秘密計算技術 (PETs の一部)	暗号化を一度も解くことなく、データ分析や AI 学習・推論等に必要な計算処理を行い、その結果だけ取得可能 (暗号データを基に戻す必要がないためデータの保護と活用が両立できる技術)。具体的には、秘密分散方式、準同型暗号方式、秘匿回路方式が存在する。
高機能暗号作成のためのペアリング演算の高速化技術	ハードウェアによるペアリング演算の高速化 (余剰乗算が最も計算コストが高くボトルネックとなる部分であることから特に余剰乗算器の高速化が重要) は、高機能暗号の効率的な構築に用いられる。
サイドチャンネル情報を用いた検出 (ハードウェア・トロージャン (検出技術))	ハードウェア・トロージャン (HT) が実装されていないと仮定されるデバイスの物理特性をあらかじめプロファイリングし、これを基準として HT の実装が疑われるデバイスと企画を行い HT 実装の有無を判断。
ゲートレベルの特性評価 (ハードウェア・トロージャン (検出技術))	ゲートレベルの物理特性に着目し、それに応じた電力や実行時間遅延などを用いてハードウェア・トロージャン (HT) が挿入されたか判断。
テストベース (ハードウェア・トロージャン (検出技術))	出荷前に通常チップに適用される機能テストのプロセスと同時にハードウェア・トロージャン (HT) を検出する手法。
光学検査 (ハードウェア・トロージャン (検出技術))	IC 内部のレイヤーを一つ一つ除去し、検査対象となるチップを破壊することにより実施。リバースエンジニアリング技術に依存した検出手法。
形式検証 (ハードウェア・トロージャン (検出技術))	IC チップの設計情報にハードウェア・トロージャン (HT) が混入していないことを証明するアプローチ (例えば、対象となる機能ブロックに許可されたあらゆる入力パターンに対して、実装物の出力と使用の出力とが一致することを確認する)。
電気特性計測 (ハードウェア・トロージャン (検出技術))	機器の電気計測に基づいてハードウェア・トロージャン (HT) を検出する手法、物理量としては計算しやすいインピーダンス等に着目して、HT の有無や実装された位置などを着目する。

技術名	概要
AI に対する攻撃技術	AI 開発の各工程を狙った攻撃手法に関する技術。主要な攻撃技法・技術は①データポイズニング（識別を劣化させる攻撃やバックドア攻撃）、②モデル抽出（モデル反転攻撃や敵対的生成ネットワークを利用した攻撃）及び敵対的サンプル（深層学習に対する敵対的サンプル攻撃や確信度の高い敵対的サンプル、移転性）。
AI による異常検知	AI を用いて攻撃を検知することに加え、膨大な情報を分析することや脆弱性の有無の検査の効率化等があり得る。具体的には、ネットワーク、ソフトウェア、ハードウェアに対する異常検知が挙げられる。
XDR（Extended Detection and Response）	エンドポイントに加え、メールサーバーやネットワークなど複数のセキュリティレイヤから情報を収集し、攻撃の全体像を把握・可視化するためのソフトウェア。様々なセキュリティ製品の機能を集約したもので、インシデントの調査の高速化に資する。
SASE（Secure Access Service Edge）	クラウドにアクセスする際のセキュリティを確保するためのフレームワーク、製品の総称。マルウェアの検出や VPN などの機能を集約して提供する。

食料安全保障

技術名	概要
BNI (Biological Nitrification Inhibition, 生物的硝化抑制) 強化作物の開発技術	生物的硝化抑制機能を持つ作物である BNI 強化作物を用いて、硝化を抑制し、窒素を土壌と作物に留める。土壌にいる硝化菌が窒素肥料 (アンモニア) を食べて作り出された硝酸は、土壌に吸着せず、流失してしまうという問題があり、それに応えることができる。
DX による家畜の健康管理技術	デジタル技術を活用し、家畜の健康を管理することで、病気への罹患等を抑制する。
アクアポニックス (循環型農法)	水耕栽培と水産物養殖を組み合わせ、同システム内で育て・共生させることで、循環型農業とする手法。
エアロポニックス栽培	土を使わずに、空中で立体的に栽培する方法。
オプトポニックス栽培	作物の形状や栽培体系に最適化された閉鎖型栽培体系を作り、栽培する方法。
ゲノム解析による接木可能な品種の拡大	従来不可能とされていた品種に対してゲノム解析の手法を用いて、接木に必要な因子を特定する。病害耐性や生産性の高い品種改良に貢献。
ノウハウ (匠の技術) の抽出・活用	人の様々な行為を「状況把握」「判断」「作業」に分けた際の、農作業における「状況把握」「判断」を最適化する。
ペロブスカイト太陽電池と EV 農機を組み合わせたエネルギーの自給自足技術	ペロブスカイト太陽電池は光量が低くても発電でき、農業用ハウス等のシートとしても利用可能。そこで発・蓄電した電気を EV 農機の動力源として利用する。
ロボットによる収穫の自動化	ロボットを用いて収穫を自動化することで、農場における人手不足への対応や効率化を図る。
光合成ユビキティの解明と応用	光合成ユビキティ (高温や低温、多湿、乾燥地域などがありながらも、地球上のどこでも光合成可能な原理) を解明することで、植物の光合成の強化などに応用できる可能性がある。
光造形技術を用いた接木チップの作成技術	接木しづらい小型の植物らを接木する際に用いるチップの作成。
高精度のゲノム解読による未利用・低利用植物の高度利用化	未利用・低利用植物を高精度のゲノム解読にかけ、編集することで、利用できる作物を作り出す。
食用となる昆虫を栽培する技術	代替タンパクとしての昆虫を栽培し、食料不足等に応える。

技術名	概要
栽培環境のセンシングと解析技術	農場における汎用で安価なセンサーとディープラーニングなどの高度な情報分析技術を掛け合わせた栽培環境の最適化。
栽培実験装置・完全閉鎖環境での育成技術	光、温度、湿度、CO2濃度などを制御し、様々な栽培環境を再現できる栽培実験装置や完全閉鎖環境で育成実験ができる実験施設。
細胞性食品（培養肉）の生産技術	動物性の細胞を培養し、成形することで代替肉を作成する技術。
種子への微生物コーティング	種子の生育に適した微生物をあらかじめコーティングすることで、生産性を向上させる。
植物の組織培養系の器官再生のメカニズム解明と応用	植物の再生能力を用い、組織培養系を介して個体を再構築する。クローン増殖、遺伝子組み換え作物の作出、ゲノム編集品種の作出などでは、組織培養系を介した個体の再構築が必須であり、アグリバイオテクノロジーの基盤技術。
植物性タンパク（大豆）の生産性を向上させる技術	植物性の代替タンパクの製品（代替肉等）を生成する際の材料となる大豆の生産性を向上させる。
植物性原料を使って代替肉を作る技術	大豆など植物由来の成分で代替肉（代替タンパク）を生成する。
食品の鮮度を保った解凍に必要な温度管理に資するセンシング	ラマン光学計測を用いた、食品の分子レベルでの非破壊計測技術の応用。魚や肉を解凍する際のドリップの減少と細菌増加抑制の両立によって、食品のロスを減少させる。
人工クモ糸の大量生産技術と代替肉への応用	代替肉の課題である繊維質を再現に利用。
遺伝子組換えやゲノム編集による耐乾性や耐病性を持つ品種の開発	遺伝子組換えやゲノム編集によって乾燥や病気に強い品種を開発する。気候変動により乾燥地が拡大し収量が減少するとされ、さらに食料需要の増加が見込まれる中で、これらの問題に 대응することができる可能性がある。
土を肥やす微生物の特定と応用	特定した窒素固定微生物を用いて低窒素農業に応用する。化学肥料の低減が求められる中で、微生物を活用で応用することができる可能性がある。
納豆菌の培養・育種技術	納豆菌を培養すると粉末ができ、小麦粉や米粉と同じよう可以使用できる。
農業分野における分散クラウド	各農場間でのローカルでのマイクロデータの管理と、農村・地域単位でのマクロデータの利活用。
非破壊ラマン光学計測を用いた食品の解析技術	非破壊で対象を分子レベルで計測する機器を用いた、食材の鮮度、病気感染有無、食感、繁殖している菌種の特定技術。

技術名	概要
微生物・ウイルスによる植物用・農業用ワクチン	微生物やウイルス由来の農作物用のワクチンを作成・利用し、病気の罹患等を抑制する。
野生未利用遺伝資源の食糧資源化	ゲノム編集などを用いて野生未利用遺伝資源を栽培化する。野生未利用遺伝資源が持つ多様性や様々な環境への適応能力、ストレス耐性などのメリットを残しつつ、可食部の小ささや収量の少なさなどのデメリットを克服し、食料資源となる作物を作る。

先端技術全般

分野	技術名	概要	備考
人工知能・機械学習技術	生成 AI を活用したセキュリティ担当者の支援技術	脆弱性情報の要約・正規化・評価、コーディング作業、攻撃者が送るコマンドの解読作業などの自動化。悪意のあるメッセージやログの探知精度の向上。	再掲
人工知能・機械学習技術	感情分析 AI	人間の感情を分析・模倣できる AI。認知戦などで活用される可能性。	再掲
先端エンジニアリング・製造技術/宇宙関連技術	高重力場での金属 3D プリンティング技術	高重力場（遠心加速器上）で金属 3D プリンティングを行うことで、加工精度と加工効率（時間）を大幅に改善させることができる。無重力空間や船舶など振動が伴う環境でも、安定して複雑な金属部品を生産できる。	
マイクロプロセッサ・半導体技術	RISK-V に利用可能な TEE	TEE (Trusted Execution Environment)、強く保護されたハードウェアの技術。次世代の物は低レイヤーのソフトウェアとの組み合わせが想定される。活用例として、鹵獲されたドローンからの機密情報流出を防ぐこと。RISK-V は組み込み系や IoT で用いられているオープンソースの CPU。	再掲
先端コンピューティング技術/マイクロプロセッサ・半導体技術	光デバイスの実用化に向けた製造技術	サーバーセンター用のサーバーなど High Performance Computing に必要な機器の内部通信を電気から光に置き換える技術。HPC の高速化・超消費電力化に貢献する。光デバイスの要素技術自体はそれなりに確立されており、標準化、コスト、製造技術の課題が多い。	

分野	技術名	概要	備考
先端材料科学	レーザー照射によるシリコンナノ構造体の生成	シリコンウエアの端材をリサイクルするための加工技術。	
バイオ技術、医療・公衆衛生技術	高精度・高速なウイルス検知技術	ダイヤモンド電極を用いた液相中のウイルス検知技術など。	
バイオ技術、医療・公衆衛生技術	ナノ機能性材料を用いた生化学センサー・生体情報モニタリングセンサ	薬物試験・再生移植医療に必要な生体機能の再現を実現する技術。	
バイオ技術、医療・公衆衛生技術	腸内細菌叢	腸内に棲む細菌を分析。	
バイオ技術、医療・公衆衛生技術	マルチオミックス	生体中に存在し、機能する分子全体を網羅的に研究。	
バイオ技術、医療・公衆衛生技術	ファウンデーションモデルのマルチモーダル LLM (AI) と世界最大規模の生体データベースをから作られるエンジン	世界規模で収集した質の良いデータから作られる AI。	
バイオ技術、医療・公衆衛生技術	ADC (Antibody Drug Conjugate : 抗体薬物複合体)、TPD (Targeted Protein Degradation) といった創薬モダリティ	ADC : 抗体と薬物をリンカーと呼ばれる部分を介して結合させたバイオ医薬品で、狙った組織や細胞にピンポイントで薬物を届けられる。TPD : 創薬の標的にくつつくことで生物的なメカニズムで分解を促す新しい標的の阻害方法。	
バイオ技術、医療・公衆衛生技術	LNP (lipid nanoparticle : 脂質ナノ粒子) をはじめとする DDS (Drug Delivery System) に重要な新規モダリティ技術	薬物を疾患領域に到達させるためのドラッグデリバリーシステムに関わるモダリティ。	
バイオ技術、医療・公衆衛生技術	RNA ベースの予防及び治療法	mRNA ワクチン・免疫療法や RNAi 治療など。	

分野	技術名	概要	備考
先端監視・測位・センサー技術/海洋関連技術	SMART 海底ケーブル、DAS センサー	科学的モニタリングと信頼できる通信 (Science Monitoring And Reliable Telecommunications: SMART)を実現する海底ケーブルと既存の改訂ケーブルに接続可能な分布振動(音響)計測 (Distributed Acoustic Sensing; DAS) センサー。海洋の環境測定が可能。将来的には潜水艦の検知に使える可能性がある。	
量子情報科学	量子情報通信と光通信のインターフェース技術	物質系(シリコン、超伝導等)の技術体系から光へ、光から物質系へ量子技術をやりとりしたいが、インターフェースが難しく、それが実現すると量子通信が発展する。	
量子情報科学	ノイズの処理	量子性を保ったままでない量子コンピュータの優位性を発揮できないが、ノイズによってそれが途中で崩れてしまうため、ノイズが発生しても一定の正確性を担保するための技術。	
データ科学・分析・蓄積・運用技術	ノウハウ(匠の技術)の抽出・活用	人の様々な行為を「状況把握」「判断」「作業」に分けた際の、「状況把握」「判断」を最適化する。	再掲
先端監視・測位・センサー技術/輸送技術	高感度 SPAD センサー	自動運転時の障害物検知などを行う車載 LiDAR に必要な受光素子。	
先端監視・測位・センサー技術/輸送技術	小型ポリゴンミラー	レーザー照射部に用いる回転式のミラー。車載 LiDAR 向けにはより小型化する必要がある。	

〒108-8345 東京都港区三田 2-15-45

慶應義塾大学グローバルリサーチインスティテュート (KGRI)

<https://www.kgri.keio.ac.jp/>