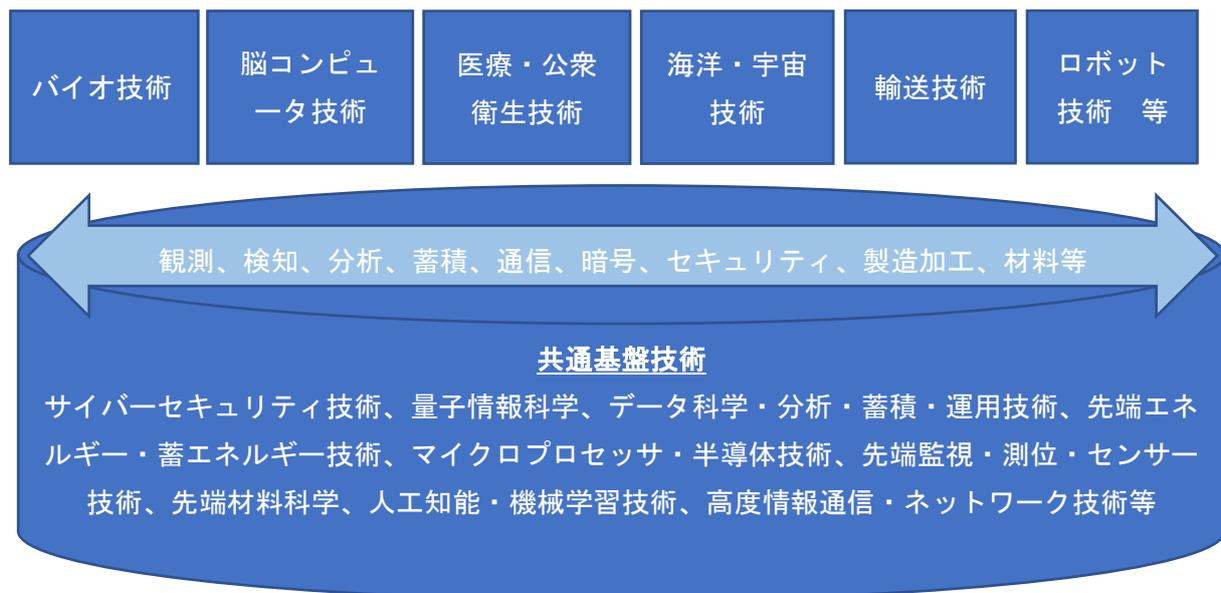


補論

- 本受託調査は「脅威 (Threat)」に焦点を当てた内容となっていることから、23 分野¹の調査報告内容を横断的に整理するために、全分野で SWOT 分析²を実施した（別表 1）。
- 「脅威」に備えるにあたり、23 分野に共通する技術要素があれば、それらを強化することで領域横断的な備えが効率的に強化できるであろう。
- 領域横断的な基盤技術としては、以下が挙げられる。
 - サイバーセキュリティ技術、量子情報科学、データ科学・分析・蓄積・運用技術、先端エンジニアリング・製造技術、先端エネルギー・蓄エネルギー技術、マイクロプロセッサ・半導体技術、先端監視・測位・センサー技術、先端材料科学、人工知能・機械学習技術、高度情報通信・ネットワーク技術、先端コンピューティング技術
- 基盤技術を活用する専門・応用技術を以下に挙げる。
 - バイオ技術、脳コンピュータ技術、医療・公衆衛生技術（ゲノム学含む）、宇宙関連技術、海洋関連技術、輸送技術、ロボット工学、極超音速技術、化学・生物・放射性物質及び核（CBRN）



¹ 健康医療（深堀）、サイバーセキュリティ（深堀）、海洋・宇宙（深堀）、バイオ技術、脳コンピュータ・インターフェース技術、医療・公衆衛生技術（ゲノム学含む）、先端エネルギー・蓄エネルギー技術、人工知能・機械学習技術、高度情報通信・ネットワーク技術、先端コンピューティング技術、サイバーセキュリティ技術（広範囲）、マイクロプロセッサ・半導体技術、宇宙関連技術、データ科学・分析・蓄積・運用技術、海洋関連技術、先端エンジニアリング・製造技術、輸送技術、ロボット工学、極超音速技術、量子情報科学、化学・生物・放射性物質及び核（CBRN）、先端監視・測位・センサー技術、先端材料科学

² 「強み (Strength)」、「弱み (Weakness)」、「機会 (Opportunity)」、「脅威 (Threat)」の頭文字 SWOT から名付けられた事業分析のツール。あくまでも便宜的な整理であり、絶対的な評価でないことに留意。

- 領域横断的な連携について

領域横断的な連携の在り方を以下に例示した。

海洋・宇宙、サイバー、バイオを主軸とした場合

(1) 海洋・宇宙、サイバー空間

- 近年、米中貿易摩擦、北朝鮮のミサイル脅威、ロシアのウクライナ侵略、台湾海峡の懸念等、日本を取り巻く環境（陸海空、宇宙、サイバー空間等）が急激に悪化しており、国民の「安全・安心」をどのように確保・担保していくかが喫緊の課題である。
- そのためには、まず取り巻く環境の状態を迅速かつ正確に把握することが肝要であろう。「観測」するには「センサー技術」が必要である（先端監視・測位・センサー技術）。現在は、衛星を利用した監視、GPS 等での測位が行われているが、GPS が使えない環境下での測位について、米国を筆頭に各国の技術開発競争が激しくなっている。こうした技術は APNT(Assured Position, Navigation, and Timing)と総称されており、慣性計測、高度計、電子光学/赤外線センサー、レーザー・レーダー、天体の位置・角度測定、磁場計測、気圧などのありとあらゆる利用可能な航法データをリアルタイムで統合し、3D マップを作成し GPS の代替とするものである。受動的なセンサーであることから電波妨害に対する耐性も強い。また、APNT では「量子センサー」の重要性も高い。量子センサーにより在来技術よりもはるかに正確で感度の高い測定が可能になるだけでなく、これまで測定できなかったものを測定できる。例えば、地下マッピングを通じて足元にあるものを正確に見つけることができ、将来的には GPS の代替デバイスとして自動運転、ドローン（スウォームシステム）、地下・海底・水中探査機（AUV）等に展開していくことが想定される。
- さらに、脅威に対する備えとして、観測したデータを蓄積・分析・シミュレーションして、その結果を考察し、事前に対策を講じることは重要である。そのためには、「データ科学・分析・蓄積・運用技術」や「人工知能（AI）・機械学習（ML）技術」が重要となる。人工知能（AI）は、APNT でも活用されるので、この分野で遅れをとることは国民の「安心・安全」を確保・担保する上で致命的になりかねない。
- 加えて、シミュレーション能力の高度化には、「先端コンピューティング技術（先端半導体）」や「量子技術」が必要だ。これらの分野は、設計・製造・検査等の幅広い技術が関係し、日本の戦略的不可欠性や戦略的自律性を高める上でも重要な技術である。シミュレーション能力を高度化することは、分析の速度や精度を上げるため、関連分野を「社会実装」していく上でかかる全体的なエネルギーコストを低下させることに繋がる。カーボンニュートラルを目指すうえでも重要なキーテクノロジーとなろう。
- また、運用にあたり「セキュリティ技術」が重要となる。なぜなら、あらゆるシステムにインストールされているソフトウェアは、スマホのように遠隔で自動的にアップデートされる（OTA 技術：Over The Air）からである。そのため、「サイバーセキュリティ技術」、「量子情報科学（量子暗号）」、「通信技術」が必要だ。
- このように、各分野は独立しているのではなく、領域横断的に相互に関連していることがわか

るであろう。そのため、分野横断的な知見や研究開発が必要となる。人材育成も重要な課題で、分野横断的に人材の組み合わせが必要であろう。早急に、人材や情報のプラットフォーム（ハブ機能）構築や、人材育成の制度設計（方針、インセンティブ、カリキュラム、方法論等）が必要となる。

（２）バイオ領域（ライフサイエンス）

- 国民の「安全・安心」を脅かす「脅威」には、これまでみてきた空間的脅威（陸海空、宇宙、サイバー）の他に、人体に直接影響を及ぼす生命的脅威（本調査：健康医療、脳科学、バイオ、CBRN、医療公衆衛生等）がある。
- 近年、ゲノム編集のように生命体や物質を再合成、製造、創出する技術を応用した研究領域として、「合成生物学」が欧米を中心に定着しつつある。既存の生命体や物質を再合成、製造するだけでなく、生命体と人工物からなる人工細胞を創出するハイブリッド生命システムなどの研究開発によって、医療はもちろん、動植物の品種改良や材料の開発をはじめ、さまざまな分野への応用可能性が広がっている。現在、合成生物学とその応用技術分野は、欧米を中心に研究開発が進められているが、中国の台頭も目覚ましい。日本は、先駆的な研究が行われるなど、合成生物学分野における高い技術力を有する一方、研究者の人口が少なく、バイオビジネスのエコシステムの形成やその規模は米国や英国、中国などと比べて小さい。
- 合成生物学を応用した技術は、あらゆる生物・物質のライフサイエンスに関わることから、医学、獣医学はもちろん、農業・漁業・畜産業、エネルギー・天然資源などの第1次産業、化学品や材料、化粧品やパーソナルケア製品などの工業製品、またバイオ情報に基づく情報技術や社会インフラ、自然環境とその保護、軍事・防衛・安全保障分野など多岐にわたる。なかでも、医療や生活用品、エネルギー・資源、環境、動植物の品種改良、安全保障分野などの分野で広く技術が応用され、実用され始めている。
- 日本は、合成生物学の基礎研究分野、およびバイオ・アグリカルチャー、また民間においては生体医工学などに強みがあるため、エネルギー・資源、あるいは食糧などの安全保障面、また生体認証をはじめとする医工学分野の防衛・保安面での利活用を進めていくことが肝要であろう。
- また、日本の強みは、ゲノムワイド関連解析にもある。ゲノムワイド関連解析とは、特定のゲノムの狭い範囲を解析するのではなく、ゲノム全体を広範囲にわたって解析する必要があることから、多遺伝子（ポリジェニック）に基づいて個人のゲノムを調べ、そのゲノム・データを解析することにより、病気と遺伝要因の因果関係を明らかにすることをいう。ゲノムワイド関連解析は、2002年に日本の研究者が世界で最初に研究成果を発表した手法である。日本では国立がん研究センターが日常診療への導入を目指して次世代シーケンサーと独自の検査キットを使った臨床研究を進めている。
- 膨大なデータを扱うゲノム医療では、データベースに蓄積した膨大な情報を解析することにより、新たな遺伝子異常を発見し、日本初の新薬や診断法の開発に結び付くことが期待される。日本国内でコホートのスケールアップが図られれば、これらのデータが日本と遺伝的背景が近

い東アジア、東南アジアのゲノム医療、プレジジョン・メディシンへ貢献できる可能性も考えられる。

- また、すでに富岳を用いたがんの遺伝子ネットワーク分析について研究が進められているが、先進コンピューティング分野や AI 分野、データサイエンス分野等、ゲノム医療分野の発展を加速させる他の新興技術領域との連携をがん研究に限らず多角化させる必要がある。先端材料科学やバイオ技術をはじめとするさまざまな分野において、ラボにおける実験を通じて研究を進めるいわゆるウェットな研究スタイルから、コンピュータによるシミュレーション・解析等を通じて新機能の開拓を進めるドライな手法への移行が進んでいるが、データサイエンス分野はこうした取り組みを進めるための能力的な前提ともなりうるため、データサイエンス人材の育成は分野横断的な目的意識を一定程度組み入れるかたちで進めることも視野に入れるべきである。
- また、3D プリンティングや先端素材技術においてもデータ（設計図）があれば製造できる³ことから、データの中国への漏洩など留意が必要である。信頼できる国（米国等）と組むことが重要であろう。

テクノロジー・ガバナンス

- 技術に国境はないので、全世界の人々がテクノロジーの恩恵を受ける権利があるが、悪意を持った使用もできる。そのため、世界の経営者からはテクノロジーに対する「哲学」や「ガバナンス」が重要であるとの声が上がっている⁴。例えば、コロナ禍の 2021 年に米国で開催された世界最大規模の先端技術の展示会である CES2021 では、マイクロソフトやモーター・アイの CEO からテクノロジー・ガバナンスの重要性を訴えるスピーチがなされた⁵。また、同年 4 月に世界経済フォーラムが主催した、「テクノロジー」に着目して議論する国際会議（第 1 回グローバル・テクノロジー・ガバナンス・サミット（GTGS））のホスト国を日本が務めた⁶ことは、重要な意味を持つだろう。量子力学や人工知能を始め、最先端のテクノロジーを運用するには、世界的な対話が必要だ。そのためには、世界の人々の文化背景（歴史、哲学、価値観等）を理解し対話をすることが求められる。人材育成には、技術領域だけでなく社会科学的な要素も教育のベースとしてあるべきであろう。
- また、ガバナンスの在り方としては、積極的なリーダーシップで貢献する方法もあろう。例えば、宇宙活動では、昨今のコンステレーション衛星の増加によるスペースデブリも考慮した軌道利用や、民間企業による月の資源獲得を視野に入れた進出を受け、宇宙資源の利用に関する国際的なルール作りが今後求められている。

³ 品質を上げるには「材料」が重要である。

⁴ そもそも物理学は自然哲学の一部であった。「哲学」の重要性はアインシュタインも指摘しており、量子力学における論争の際にも「最近の科学者は哲学を学んでいないので思考の質が低下している」という趣旨の発言をしている。出典：「存在とは何か」アダム・ベッカー

⁵ 日本政策投資銀行産業調査部「Beyond コロナの企業戦略 米国 CES2021 調査報告」

https://www.dbj.jp/topics/investigate/2020/html/20210325_203165.html

⁶ 日本政策投資銀行産業調査部「新技術と共生する社会を目指して～世界経済フォーラム グローバル・テクノロジー・ガバナンス・サミット 2021 調査報告～」https://www.dbj.jp/topics/investigate/2021/html/20210430_203238.html

- そのような状況で我が国は、令和3年の宇宙資源法の成立、また宇宙政策委員会における軌道利用のルール作りの検討を通して、先んじて国内法等を成立させ、イニシアティブを持って、国際的なルール作りの協議に臨もうとしている。将来の社会実装、事業展開を見据え、国際的なルール策定に際してデファクトスタンダードを握れるよう主体的な調整が必要である。

(補足)

量子力学を起点とした場合

- 2022年のノーベル物理学賞は、量子力学の研究者（ベル（型）の不等式の破れを実証した3人⁷⁾に贈られた。そこで、分野横断的な視座を得るきっかけとして、「量子力学」を起点に考えてみたい。
- 量子力学には「観測問題」が長年のテーマとして存在している。我々に馴染みの深い古典力学（ニュートン力学）では、観測対象の情報（位置や速度など）は、「観測」する前から決まっているが、量子力学では、観測対象の情報は、「観測」することによって初めて確定されるという解釈を行う⁸⁾。では、「観測」した場合の情報は、光学的な情報として、まず人間の目の網膜から入り、最終的に「脳」で情報処理されるとすると、観測の最終的な判断は「脳」で行われているのだろうか。ここでも様々な解釈があるのだが、「脳」で判断されているとすると、量子力学は「脳科学」とも繋がってくる。今回の調査分野に「脳コンピュータ・インターフェース技術」があるが、量子力学にも関連する重要な分野となろう⁹⁾。
- また、VR（仮想現実）やAR（拡張現実）という先端技術も「視覚」や「脳」への働きかけであるので、VR・ARや産業界で活用が進展しているデジタルツイン等（総称してメタバース）との実装を考える場合も、量子力学や脳科学との発展可能性を考えるべきだろう。

【CES2023 情報】

CES2023 とは、2023年1月に米国ラスベガスで開催された最先端テクノロジーの世界的な展示会である。

2023年の注目テクノロジーは、①Enterprise Tech Innovation、②Metaverse/Web3、③Transportation/Mobility、④Health Technology、⑤Sustainability、⑥Gaming and Servicesと発表された。年々注目が集まっているのが Mobility の分野で、今回も多数の自動車メーカー（BMW、Mercedes-Benz、Stellantis、Sony Honda Mobility等）やサプライヤー（Bosch、Valeo、Continental等）から意欲的な発表がなされた。各社ともソフトウェアの価値に重点を置いており、ソフトウェア人材をいかに確保できるかが重要な経営テーマとなっている。なかでも Bosch は、2021年発表時の17,000人から2023年は40,000人と倍以上に増やしている。さらに、IBMと連携して量子コンピュータにも注力することと、OTA（Over The Air）におけるセキュリティの強化への取り組みが見られた。自動車のテーマは、あらゆる最先端テクノロジー領域（ソフトウェア開発、AI、クラウド、サイバーセキュリティ、量子コンピュータ、バッテリー素材開発、ブレイン・マシーン・インターフェイスなど）と産業を超えたエコシステムに広がりつつある。その人材獲得や育成が喫緊の課題である。また同時にあらゆる産業で労働力不足が懸念されており、DX に対応するためソフトウェア人材獲得競争が激しくなる。

⁷⁾ アラン・アスペ教授（仏）、ジョン・クラウザー博士（米）、アントン・ツァイリンガー名誉教授（オーストリア）

⁸⁾ 「観測」する前までは観測対象の情報は確定しないという解釈。それ以外の解釈も多数ある（ボーム、ベル、ツェー等）。

⁹⁾ 量子力学の重要テーマの一つであるエヴェレットの「多世界解釈」は、現実では受け入れがたいSFのような解釈であるが、実は「脳科学」のテーマなのかもしれない。

カーボンニュートラルへのアプローチは、「電動化」だけが解ではないとした米国大手農機具メーカーJohn Deereの基調講演が注目を集めた。同社は、最先端テクノロジーを使用した精密農業（トラクターの無人運転、センサーによる肥料注入の最適化、除草剤散布の最適化）と廃棄農作物から作るバイオ燃料によって、二酸化炭素排出が電動化（EV）よりも抑制できるとした。農業大国でもある米国の利点を生かし、中国や欧州がEV化でシェアを拡大していることを牽制する米国の戦略を表していると言えるのではないか。EV化のみだと、むしろ地球環境を破壊するという論調も目立ち、EV化を推進しつつもEV一辺倒ではなく、地域の事情に応じたバイオ燃料等で内燃機関を残すという選択肢（あるいはバイオ燃料・技術の販売というエネルギー輸出国としてあり方）もあり得るというメッセージであろう。

以上