

Generation Sequencing, Digitalized clinical trial, Monoclonal Antibodies and Biosimilars, Cell and Gene Therapies, Vaccine, Personalized Treatment, Precision medicine, Cytogenetics, Biobank, Biomechatronic, Biotherapeutic, Biomedicine, Bioinformatics, Diagnostic kit, Bioprinting, “In silico” testing, Microscopic robots, Medical robots, 3D pathology imaging, 3D radiology imaging, Physiotherapy, Smart Neural Interfaces, Neuromodulation, Brain-Computer Interfaces」を選定し、Health technology ヘルスシステムの観点からは、「eHealth, Telehealth, Wearable health(care), Medical Regulatory technology (“MedRegTech”), Virtual Reality in health(care), Augmented Reality in Health(care), cyber security mesh (Architecture) in health(care), Cloud computing in health(care), Blockchain in Health(care), Artificial intelligence in Health(care), Next-Generation Computing in Health(care), 3D printing in health(care), Machine learning algorithm in Health(care)」とした (図 20-2)。

Main term	Technological classification	Sub term (based on emerging or new technological trend)
Pandemic preparedness / Public (Global) Health Emergency	Pharmaceutical technology (Pharmaceutical technology and Biotechnology) シーズ開発を含めた薬剤・製薬・創薬の観点 (Medical device含む)	Vaccine, Precision medicine Cell and Gene Therapies, Monoclonal Antibodies Smart Thermometer, Quarantine e-tracking (social distance detector), Detection or diagnosis kit (test), Next Generation Sequencing
	Health technology (more broad aspects) ヘルスシステムの観点	Contact tracing, eHealth Telemedicine, Smart healthcare Virtual meeting medical consultation Medical drone, Essential robot worker, Medical robot

(図 20-1 Public (Global) health emergency のサブカテゴリー)

Main term	Technological classification	Sub term (based on emerging or new technological trend)
Medical technology	Pharmaceutical technology (Pharmaceutical technology and Biotechnology) シーズ開発を含めた薬剤・製薬・創薬の観点 (Medical device含む)	Nutrigenomics, 3D food printing, food bioactive ingredients, Food allergies and intolerances, Omics techniques, Next Generation Sequencing, Digitalized clinical trial, Monoclonal Antibodies and Biosimilars, Cell and Gene Therapies, Vaccine, Personalized Treatment, Precision medicine, Cytogenetics, Biobank, Biomechatronic, Biotherapeutic, Biomedicine, Bioinformatics, Diagnostic kit, Bioprinting, “In silico” testing, Microscopic robots, Medical robots, 3D pathology imaging, 3D radiology imaging, Physiotherapy, Smart Neural Interfaces, Neuromodulation, Brain-Computer Interfaces
	Health technology (more broad aspects) ヘルスシステムの観点	eHealth, Telehealth, Wearable health(care), Medical Regulatory technology (“MedRegTech”), Virtual Reality in health(care), Augmented Reality in Health(care), cyber security mesh (Architecture) in health(care), Cloud computing in health(care), Blockchain in Health(care), Artificial intelligence in Health(care), Next-Generation Computing in Health(care), 3D printing in health(care), Machine learning algorithm in Health(care)

(図 20-2 Medical technology のサブカテゴリー)

(1)医療・公衆衛生分野における注目される重要技術

新型コロナウイルスの感染拡大、世界中、特に先進国でワクチン開発競争、ワクチン獲得競争が激化したことは記憶に新しい。日本国内においては、感染拡大を受けて多数の組織でワクチン開発に向けた取り組みがなされているものの、国産ワクチンの実用化には至っていない（図 20-3）。

コロナワクチン開発の進捗状況(国内開発) <主なもの>				
開発企業(※1)	基本情報	取り組み状況(※2)	生産体制整備等	研究費(※3)
①塩野義製薬 感染研/UMNファーマ 高組換えタンパクワクチン	ウイルスのタンパク質(抗原)を遺伝子組換え技術で作成し人に投与	第Ⅰ/Ⅱ相試験を開始(2020年12月) アジュバントを変更した製剤による第Ⅰ/Ⅱ相試験を開始(2021年8月) 第Ⅱ/Ⅲ相試験を開始(2021年10月) 第Ⅲ相試験を開始(①発症予防効果検証 2021年12月、②抗体価の比較 2022年1月) ブースター用試験を開始(2021年12月) 青少年(12・19歳)用第Ⅱ/Ⅲ相試験を開始(2022年5月) 小児(5-11歳)用第Ⅰ/Ⅱ/Ⅲ相試験(第Ⅰ期)を開始(2022年7月) 60歳以上の4回目接種に係る第Ⅱ/Ⅲ相試験を開始(2022年7月) 成人用初回免疫用・ブースター用ワクチンについて、薬事承認申請(2022年11月24日) 小児(5-11歳)用第Ⅰ/Ⅱ/Ⅲ相試験(第Ⅱ期)、小児(5-11歳)用ブースター用第Ⅲ相試験を開始(2023年1月)	生産体制等緊急整備事業で476.9億円を補助	<ul style="list-style-type: none"> AMED(R1年度) 100百万円 感染研 AMED(R2年度一次公募) 1,312百万円 塩野義 AMED(R2年度二次公募) 50百万円(R2)塩野義 4,306百万円(R3)塩野義
②第一三共 東大医科研 ※mRNAワクチン	ウイルスのmRNAを人に投与 人体の中でウイルスのタンパク質(抗原)が合成される	第Ⅰ/Ⅱ相試験を開始(2021年3月) 第Ⅱ相試験を開始(2021年11月) ブースター用試験を開始(2022年1月) ブースター用試験の第Ⅲ相試験を開始(2022年5月) 第Ⅲ相試験を開始(2022年9月) 成人向けブースター用ワクチンについて、薬事承認申請(2023年1月13日)	生産体制等緊急整備事業で295.7億円を補助	<ul style="list-style-type: none"> AMED(R1年度) 150百万円 東大医科研 AMED(R2年度一次公募) 2,105百万円(R2)第一三共 6,674百万円(R3)第一三共
③アンジェス 阪大/タカラバイオ ※DNAワクチン	ウイルスのDNAを人に投与 人体の中で、DNAからmRNAを介して、ウイルスのタンパク質(抗原)が合成される	2020年6月、9月に第Ⅰ/Ⅱ相試験を開始し、その後、2020年12月に第Ⅱ/Ⅲ相試験を開始したが、期待する効果を得られず。 高用量製剤での臨床試験(第Ⅰ/Ⅱ相試験相当)を開始(2021年8月) 主要評価項目が期待する水準に至らず開発中止(2022年9月)	生産体制等緊急整備事業で93.8億円を補助	<ul style="list-style-type: none"> 厚生科研(R1年度) 10百万円 大阪大 AMED(R2年度一次公募) 2,561百万円 アンジェス AMED(R2年度二次公募) 994百万円(R2)アンジェス 4,100百万円(R3)アンジェス
④KMバイオロジクス 東大医科研/感染研/基盤研/Meiji Seikaファルマ ※不活化ワクチン	不活化したウイルスを人に投与(従来型のワクチン)	第Ⅰ/Ⅱ相試験を開始(2021年3月) 第Ⅱ/Ⅲ相試験を開始(2021年10月) 第Ⅲ相試験を開始(2022年4月) 小児用第Ⅱ/Ⅲ相試験を開始(2022年4月) 小児用第Ⅲ相試験を開始(2023年1月)	生産体制等緊急整備事業で285億円を補助	<ul style="list-style-type: none"> AMED(R2年度一次公募) 1,094百万円 KMB AMED(R2年度二次公募) 35百万円(R2)KMB 4,792百万円(R3)KMB
⑤VLPセラピューティクス ※mRNAワクチン(レプリコンワクチン)	ウイルスのmRNAを人に投与 人体の中でウイルスのタンパク質(抗原)が合成される	第Ⅰ相試験を開始(2021年10月) ブースター用試験を開始(2022年2月) ブースター用試験の第Ⅱ相試験を開始(2022年9月)	生産体制等緊急整備事業で182.9億円を補助	<ul style="list-style-type: none"> AMED(R2年度二次公募) 1,295百万円(R2)VLPセラピューティクス 7,815百万円(R3)VLPセラピューティクス

※1 生産体制等緊急整備事業で採択された企業を掲載 ※2 取り組み状況については、開発者から聞き取り

(図 20-3 日本国内におけるコロナワクチン開発の進捗状況⁷⁷⁴)

昨年度、一昨年度の報告書にあるとおり、ワクチンを国内で開発及び生産できる体制を整備することは、国民の健康への寄与のみならず、外交や安全保障の観点からも極めて重要である。こうした背景から、内閣府健康・医療戦略推進事務局は、「ワクチン開発・生産体制強化戦略に基づく取組状況について」とする国家戦略を取りまとめ、政府一丸となって必要な体制を再構築し、長期継続的に取り組む、としている⁷⁷⁵。

⁷⁷⁴ 厚生労働省. (2023). 「コロナワクチン開発の進捗状況(国内開発) <主なもの>」. Retrieved from: <https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000949944.pdf>

⁷⁷⁵ 内閣府 健康・医療戦略推進事務局. (2022). 「ワクチン開発・生産体制強化戦略に 基づく取組状況について」. Retrieved from: <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kenkou/ryou/sanyokai/gou/dai21/siryou1-3.pdf>

3. 薬剤・製薬・創薬の分野で期待される技術

(1) プレシジョン・メディシン（精密医療）

プレシジョン・メディシン（精密医療）は、遺伝子、環境、ライフスタイルの個人的な違いを考慮し、病気の予防と治療を調整する革新的なアプローチとされている。個別化医療につながるものと期待されている。この医療は、平均的な患者を対象とした画一的なアプローチを施すように設計されており、治療が成功しないケースも存在する。精密医療は、患者の遺伝子を解析して得られた情報から、適切なタイミングで適切な治療を提供することができることとされ、個別化医療につながるものと期待されている。

新型コロナウイルス感染症に対するワクチンは、メッセンジャーRNA（mRNA）ワクチン（代表例：ファイザー・ビオンテック社、モデルナ社製）、ウイルスベクターワクチン（アストラゼネカ社、ジョンソン・エンド・ジョンソン社）など様々な種類が開発されている。mRNA ワクチンは、スパイクタンパク質の DNA 情報を元にそれを無力化する抗体をつくるというもので高い感染症予防効果があるが、mRNA ワクチンの弱点は、変異株に対する効果が低減することである。

次のワクチンとして期待されているのが、ペプチド・ワクチンと呼ばれる、抗原となるペプチドを接種し、それに対して免疫を確立させるワクチンである。日本国内では既になん治療の一つとして開発が盛んに行われている分野で、新型コロナウイルスの感染拡大を受けて、この原理を応用できるかどうかについて研究が始められているところである。ウイルスの増殖や存続に関わる遺伝情報をターゲットにし、ウイルス構造の根幹に影響を与えないスパイクタンパク質の遺伝情報は、頻繁に変異を起こすため、mRNA ワクチンの効果が低減するが、ウイルスの増殖や存続に関わる遺伝情報は変化しない点に着目したワクチンとして研究が活発になっている⁷⁷⁶。

(2) セル・アンド・ジーン・セラピー（細胞・遺伝子治療）

細胞・遺伝子治療は、病気の治療、予防、あるいは治癒の可能性を目指して、その病気が先天性であるか後天性であるかにかかわらず、根本的な治療法として期待されている。

細胞・遺伝子治療は、下図のとおり厳格なサプライチェーンの上に成立している⁷⁷⁷。米国を例にとると、細胞・遺伝子治療を提供する企業は、新型コロナウイルス感染症の治療活動を有線するために、

⁷⁷⁶ Yang, H. et al. (2022). Developing an Effective Peptide-Based Vaccine for COVID-19: Preliminary Studies in Mice Models. *Viruses*, 2022 Mar; 14(3): 449. DOI: [10.3390/v14030449](https://doi.org/10.3390/v14030449)

⁷⁷⁷ McKi nsey & Company. (2022). COVID-19 and cell and gene therapy: How to keep innovation on track. Retrieved from:

<https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Pharmaceutical%20and%20Medical%20Products/Our%20Insig>

細胞培養液など、細胞・遺伝子治療にも必要となる資源を欠き、多くの細胞・遺伝子治療プログラムが停止する結果となった。⁷⁷⁸⁷⁷⁹

パンデミックで直面したサプライチェーンの課題は、サプライチェーンのつながりの脆弱性を浮き彫りにし、サプライヤーは緊張と需要の増加に対処するための新しい戦略を設計することで適応することを余儀なくされた⁷⁸⁰。

我が国では、日本医療研究開発機構（AMED）を中心として関連省庁で連携しながら細胞・遺伝子治療の分野融合的な研究を推進している⁷⁸¹。細胞治療、遺伝子治療どちらのアプローチも遺伝子または遺伝子を導入することから、実用化にあたっては、基礎研究の更なる蓄積が求められていること、安全性や製造技術等などの技術面の課題、法整備の必要性など、産業化にむけては様々な課題が存在している。

<https://www.fda.gov/vaccines-blood-biologics/cellular-gene-therapy-products/COVID-19-and-cell-and-gene-therapy-How-to-keep-innovation-on-track-vF.pdf>

⁷⁷⁸ Ibid. .

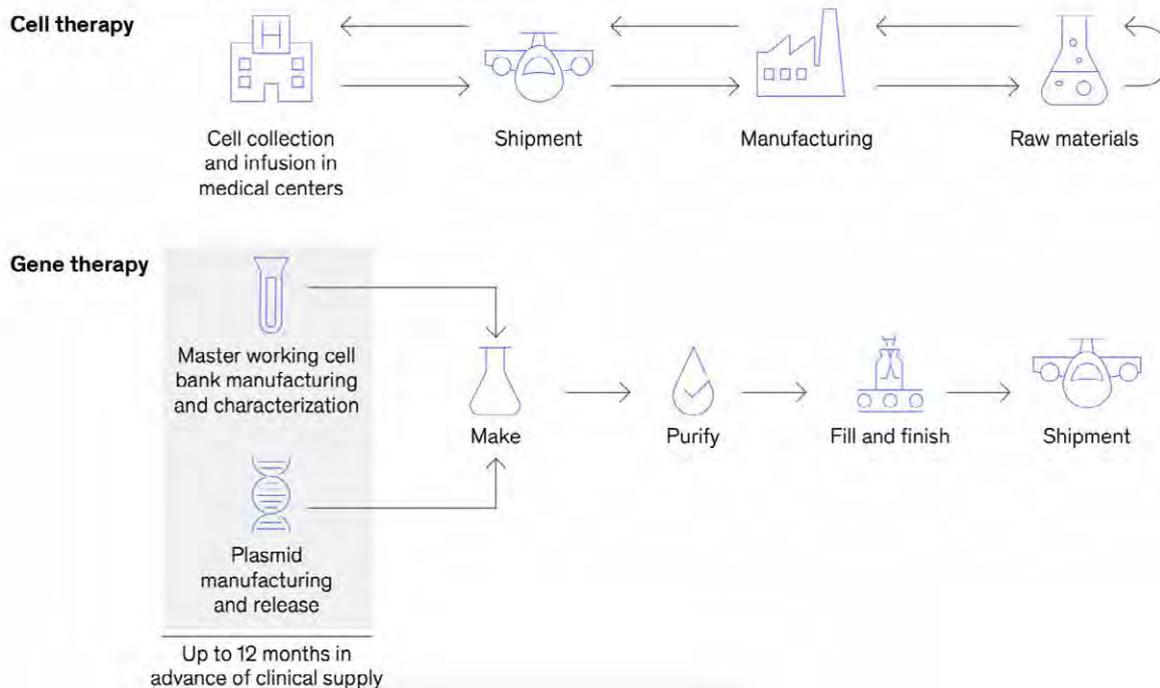
⁷⁷⁹ Cellular & Gene Therapy Products. Cellular & Gene Therapy Products. (9 December 2022). Retrieved from: <https://www.fda.gov/vaccines-blood-biologics/cellular-gene-therapy-products>

⁷⁸⁰ Qiu, Tingting, et al. (2021). The impact of COVID-19 on the cell and gene therapies industry: Disruptions, opportunities, and future prospects. *Drug Discovery Today*, 26(10): pp.2269-2281. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2021.04.020>

⁷⁸¹ 国立研究開発法人日本医療研究開発機構. 「再生・細胞治療・遺伝子治療プロジェクト」. Retrieved from: <https://www.amed.go.jp/program/list/index03.html>

The supply chains that support the manufacture and delivery of treatments are long, complex, and highly controlled.

Cell-therapy and gene-therapy supply chains



(図 20-4 細胞・遺伝子治療の流れ⁷⁸²⁾)

(3) モノクローナル抗体

モノクローナル抗体とは、モノ（単一）クローナル（クローニング：同じ遺伝子型を持つ生物の集団）抗体のことで、がん細胞などの異物についている特定の抗原のみに結合するように作製されている。

1986年に大阪大学の研究グループによって発見されたインターロイキン6（IL-6）は、免疫系細胞から放出されるサイトカインと呼ばれるタンパク質のひとつで、炎症を起こす要因となることが発見された。このIL-6の働きを阻害する医薬品アクテムラ⁷⁸³は、世界的に成功した日本初の新薬のひとつとされ、関節リウマチなどの自己免疫疾患や炎症性疾患において重要な役割を持つ⁷⁸⁴。

モノクローナル抗体は、既にある種のがんを含む多くの疾患の診断と治療に使用されており、コロナウイルスの治療において臨床的に有効であることが示されている。たとえば、2020年6月には、中

⁷⁸² Ibid.

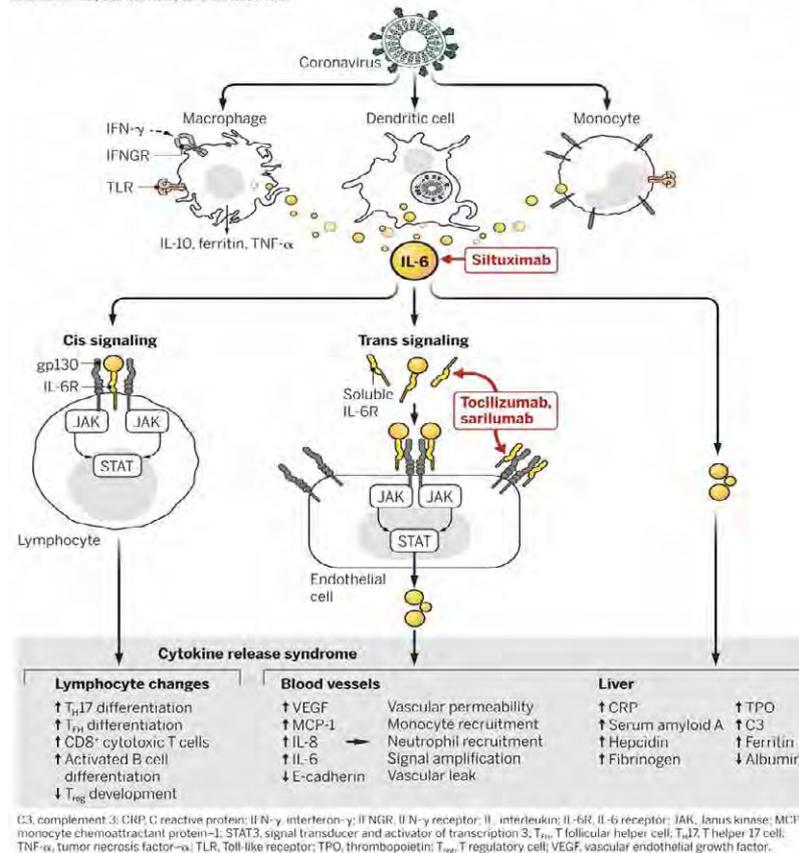
⁷⁸³ 一般財団法人日本リウマチ学会. 「関節リウマチ（RA）に対するIL-6阻害薬使用の手引き」. Retrieved from: https://www.ryumachi-jp.com/publish/gui de/gui del i ne_i l -6/

⁷⁸⁴ 橋詰 美里, 大杉 義征. (2014). 「IL-6の多様な作用」 自己免疫性疾患および炎症性疾患におけるIL-6の意義」. 日本薬理学雑誌, 144(4): 172-177. DOI: <https://doi.org/10.1254/fpj.144.172>

国で新型コロナウイルスに感染した重症患者の IL-6 値が異常に高いことが判明した際、アクテムラの投与によって症状が改善したとする研究結果が発表された⁷⁸⁵。新型コロナウイルスに感染した重症患者は、免疫細胞の炎症が暴走するおよそサイトカインストームが生じているとされており、このような患者に対しては、IL-6 の投与が応用できると考えられている⁷⁸⁶。実際に、SARS-CoV-2 のスパイクタンパク質を標的とするモノクローナル抗体は、オミクロン株などの特定の変異株に対しての有効性は劣るものの、SARS-CoV-2 感染症の治療において臨床的に有用であることが示されている⁷⁸⁷。

Pathways leading to cytokine release syndrome

Coronavirus infection results in monocyte, macrophage, and dendritic cell activation. IL-6 release then instigates an amplification cascade that results in cis signaling with T_H17 differentiation, among other lymphocytic changes, and trans signaling in many cell types, such as endothelial cells. The resulting increased systemic cytokine production contributes to the pathophysiology of severe COVID-19, including hypotension and acute respiratory distress syndrome (ARDS), which might be treated with IL-6 antagonists such as tocilizumab, sarilumab, and siltuximab.



(図 20-5 サイトカイン放出症候群が引き起こされる流れ⁷⁸⁸)

⁷⁸⁵ Xu, Xiaoling, et al. (2020). Effective treatment of severe COVID-19 patients with tocilizumab. *Proceedings of the National Academy of Science*, 20 May 19; 117(20):10970-10975. Doi: 10.1073/pnas.2005615117.

⁷⁸⁶ Moore John. B and June, Carl H. (2020). Cytokine release syndrome in severe COVID-19. *SCIENCE*, 17 April 2020. 368(6490): pp. 473-474. Doi: 10.1126/science.abb8925.

⁷⁸⁷ NIH Covid-19 Treatment Guidelines. Anti-SARS-CoV-2 Monoclonal Antibodies. Retrieved from: <https://www.covid19treatmentguidelines.nih.gov/therapies/antiviral-s-including-antibody-products/anti-sars-cov-2-monoclonal-antibodies/>

⁷⁸⁸ Ibid.

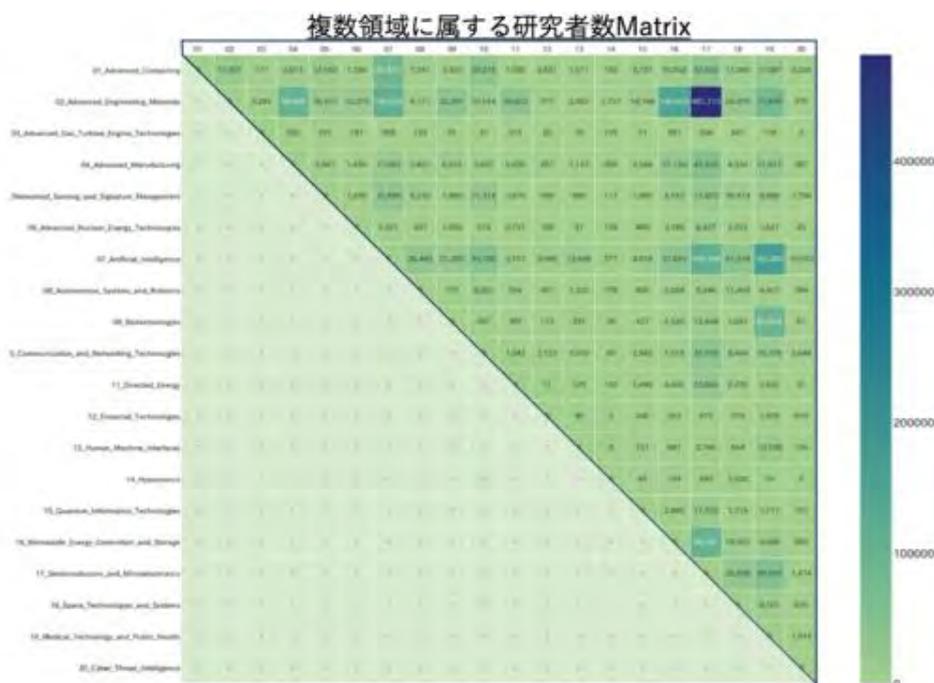
まとめ

(1) 経済安全保障戦略の形成に関わる重要性

経済安全保障における医療・保健（公衆衛生）分野での重要科学技術の影響を、多角的な視点から具体的な経済安全保障戦略を考えていく必要がある。我が国の新たな国家安全保障戦略の策定に向けて、経済安全保障を基軸とした「外交力」「防衛力」「経済力」の要素に反映させ、合わせて科学技術イノベーションをも下支えする形で経済安全保障の策定を進めなければいけないと政策提言している。その上で、具体的な経済安全保障戦略を考えていくには情報収集・分析を駆使した調査から現存する重要技術の喪失の可能性を理解することが最優先と考える。よって、メインカテゴリーからサブカテゴリーを選定したリストの重要技術の構造を理解するため、学術論文データベースを基に研究開発の取り組み状況を把握し可視化することが重要である。それにより日本の経済安全保障上のリスクを理解し、問題意識を共有することができる。

(2) 調査分析結果に基づくインプリケーション

医療・公衆衛生分野（図中では領域カテゴリ 19 : Medical technology and Public health）での個別領域分析結果によると、論文数は、他分野と比較すると上位に位置しており論文の生産性に貢献していると示唆される。さらには複数領域に属する研究者数も多く、研究や開発におけるシナジーが高いといえよう（図 20-6）。



(図 20-6 複数領域に属する研究者数 Matrix)

第3章 まとめと示唆

最後に、本調査から得られた知見をまとめたうえで、そこから得られる政策的インプリケーションについて検討してみたい。なお、本報告書では特定技術のシェアを軸に分析しているものの、特定技術のシェアは経済安全保障上のリスクを検討する際のひとつの指標にすぎないため、政策としての具体化に際しては個別分野のさらなる深堀調査を通じたリスクシナリオの明確が必要となることには留意しておきたい。

1. 分析のまとめ

日本としてリスクを抱えている領域の確認／強みのある領域の確認

全体の傾向

重要技術 20 分野の研究者数の推移をみると、先端コンピューティング、先端製造技術、センシング、AI、ロボティクス、通信、Fintech、HMI、量子、医療・公衆衛生、サイバーセキュリティ分野で研究者が増加している。一方で、ガスタービン、原子力、指向性エネルギー分野では研究者数が減少傾向にある。研究者を国別属性で計測すると、これらを専門とする研究者数は米国と中国に多く、次いで英国、日本が続く。

所属機関国別の研究者数と研究者の推定国籍との間にはギャップがあり、20 分野は総じて国外で研究を行う中国籍研究者が多くなっている。特に、先進原子力、AI、自動化システム、バイオ、指向性エネルギー、量子、医療はシェアに 5%以上の乖離が見られる。このことは、20 分野が中国にとってまだ技術を内製化できていないか、積極的に海外から技術を獲得しようとしている分野であることを意味している。

研究者数で見れば、ガスタービン、原子力、AI、バイオテクノロジー、指向性エネルギー、Fintech、宇宙、医療については米国が優勢であるのに対して、先端工業素材、量子、半導体では中国が優勢であった。一方で、通信とサイバーセキュリティは、インドの比率が高く見られた。

組織の属性でみると、全体的に情報工学関連分野は大学が研究の中心となる傾向がみられるが、ガスタービンは企業、原子力は専門機関がリードするという傾向が強い。

日本の立ち位置

重要技術 20 分野の分野別研究者について、日本を 1 とした場合の相対的な割合は、上述のとおり総じて米国・中国が数の面で優位にあるものの、原子力、先端工業素材、センシング、原子力、バイオテクノロジー、指向性エネルギー技術、Fintechにおいては、日本の研究者数が多いことが明らかとなった。特に、原子力技術の研究者数は日本が世界 1 位、バイオテクノロジー、指向性エネルギーが、ともに世界 2 位の数を擁する。

一方で、ガスタービン、サイバーセキュリティ分野は日本人研究者の割合は小さい。また、日本人研究者のうち、原子力、指向性エネルギー、通信、原子力、Fintech、極超音速分野では、日本国内の研究機関に所属しているものと推察される一方、ガスタービン・サイバーセキュリティ分野では、日本国外の機関研究を行う研究者が多いものと考えられる。

日本の研究者が携わった同志国研究機関との共著論文については、AI、量子、半導体、宇宙分野で米国およびEU諸国との成果が他の分野に比して多く見られた。これらの分野では、同志国とのさらなる共同研究を進めることが望まれる。他方、懸念国研究機関との共著論文は、先端工業素材、AI、バイオテクノロジー、半導体分野で多く見られた。

こうした研究に関わる日本側の研究者の所属先は、国立大学法人・研究所を中心に幅広く確認された。共同著作の相手先は、中国の組織が最も多く、なかでも天津大学、電子科技大学、ハルビン工業大学、四川大学、北京航空航天大学等が多く見られた。ガスタービンと極超音速分野での共同著作論文は検出されなかったが、これは日本の同分野の研究者数が相対的に少ないことが理由の一つとして考えられる。

なお、AIや半導体分野は、同志国、懸念国双方との共同研究が多いことには注意が必要であり、二国間だけでなく、多国間で科学技術情報の管理枠組みを考えていく際の留意点となろう。

国を超えた研究者の移動のデータを見ると、日本の研究者の海外組織への流出が少ない分野は、通信、原子力、Fintech、極超音速分野で、多くは日本国内の組織に留まっている。一方で、**先端工業素材、AI、半導体分野では、国内から海外組織への流出者数が多く確認された。**先進性や専門性において日本より海外機関の方に優位性が高い場合に、その組織が日本の競合国に所在する場合であっても移籍をするという傾向がみられる。先端素材分野では、中国、ロシアが当該分野での研究の先頭を走り、中国科学院、露科学アカデミー等が多数の研究者を擁しているが、この分野の日本の研究者がこれらの国の研究機関に移籍するケースが見られた。この傾向はAI等でも見られ、より先端的な研究を行っている研究機関へより良い環境を求めて移籍するものと推察される。

経済安全保障上のリスクと強み

① リスクを抱えている領域

一般論として、日本の研究者が少ない、研究機関が少ないことをリスクと捉えれば、重要技術20分野のいずれにおいても一定水準を保持することが理想的である。

極超音速、再生可能エネルギー、半導体、ガスタービン、サイバーセキュリティ分野において、日本は研究者数、研究機関数ともに主要国と比較して相対的に少ない傾向にある。これら技術は安全保障の観点からみても、いずれも重要かつ先端的な研究が求められるものばかりであり、絶対数の少なさは基盤的研究能力の脆弱性にもつながりうる。

このような弱みに対しては、分野横断的な要素技術となる AI やサイバーセキュリティ分野に特化して重点的に強化するという方法が考えられる。国内機関に所属する数少ない研究者を育成する観点からも、共同研究や、同志国との技術協定の締結、ITRE や ISS などの多国間プロジェクトへの推進が日本の経済安全保障にも少なからず貢献する可能性がある。

② 強みのある領域

原子力技術と指向性エネルギー分野では、研究者が比較的日本国内に留まっているものと推察される一方、ガスタービン・サイバーセキュリティ分野では国外の機関で研究をしている研究者が多いものと考えられる。このほか、先端コンピューティング、センシング技術、バイオテクノロジー、Fintech、指向性エネルギー技術領域では、それらの研究機関として日本の大学が世界の中でも数の上で上位を占めている。

2 つ以上の専門分野を複合的に組み合わせて研究する複合領域の研究者に焦点を当ててみると、日本は概ね多くの分野で米国や中国に次ぐ 3 位から 4 位に位置する。とりわけ、**先端工業素材技術を軸に AI、半導体、先端製造技術、再生エネルギー、宇宙技術等を組み合わせた複合技術の研究に強みを持つことがわかった。**

重要技術 20 分野の研究者と研究機関が米国、中国に集中しているという本調査結果に鑑みると、同志国との協調、共同研究協力体制の構築・強化は、日本における先端技術研究に一定の成果をもたらすものと見込まれると同時に、競合国との差別化、ひいては経済安全保障の確保を図るうえでも有益である。米国は、AI・量子・半導体・宇宙技術において多数の共同研究の実績があり、中国はサイバーセキュリティ分野での共同研究が多くみられる。米国と中国それぞれが特徴的な動きをしている。

投資すべき分野：弱く懸念国依存度が高い分野

① 個別領域

量子

量子技術は通信・測量・計算の三要素における革新性の高さから、米国、欧州、中国等を中心とした国々では、量子が国家戦略の最重要技術として位置づけられている。我が国でも 2020 年に「量子技術イノベーション戦略」を策定し、国をあげて量子技術の研究開発を促進してきた。この枠組みの中で、量子に関する「技術（量子技術）を基に、関連する技術（周辺技術として必須な技術も含む）を幅広く包含した上で、それらの成果を産業化・事業化等に結び付ける」と量子技術戦略を明確に位置づけ、研究開発投資を大幅に拡充するとともに、研究開発拠点の整備や人材育成等の取り組みを行っている。

世界の量子研究の人材等の動向を分析すると、当該分野の研究者は年々増加傾向にあり、米国、英国、中国で全体の 7 割を占め、日本の研究者数は世界で 4 番目に位置する。研究者の属性をみると、中

国科技大、中国科学院、カリフォルニア大が多くの所属人数を擁し、研究者の推定国籍からは国外で研究を行う中国籍の研究者が多いことが推察される。また当該技術に対する投資規模も中国は米国に次いで大きく、米国との技術覇権をめぐる競争が最も激化している分野の1つである。技術の特異性を見出し方は様々あるが、量子技術をもちいた関連技術に活路を見出すなど、領域横断的な対応がひとつのアプローチとなろう。

ガスタービン

ガスタービン技術は研究者数・研究機関数ともに米国が群を抜いて一位の数を擁する。また、当該技術は産業との関連が強く、独シーメンス、米バイカーヒューズといったガスタービン製造企業に所属する研究者も数多くみられる。すなわち、日本が劣位に置かれているものの、同志国に強みのある分野である。永遠の同志国はないことから、こうした状況を経済安全保障上どのように定義するかは検討の余地があるが、対応の優先順位は相対的に下がると考えてよいのではないだろうか。

核融合

核融合はエネルギー安全保障の観点から主要各国で研究開発が進められてきた分野である。特に、「国際熱核融合実験炉」(ITER)に参画する形で日本を含む主要各国が研究開発に取り組んできた。また、ここ10年では中国も本格的に核融合技術の開発に取り組んでおり、他国を凌ぐスピードで研究開発を進めている。ITER以来の核融合技術の開発は、米ソ冷戦期の東西対立を超えた国際的な技術協力の下で進められてきた。その一方で、近年の中国の急速な研究開発は、経済安全保障上大きな意味を持つだろう。

日本は、原子力エネルギーに関する研究開発に一定の優位性があり、核融合に関しても同志国と引き続き、技術協力を進めながら、技術開発において特に重要な「プラズマ物理学」等の新興学問領域の開拓をこれまで以上に促進していくことが求められる。

②複合領域

日本は、総じて複数領域にまたがって成果を創出する研究者の層は厚く、特に**先端工業素材技術**を軸に**AI、半導体、先端製造技術、再生可能エネルギー、宇宙技術**等を組み合わせた複合的研究に強みを持つ。たとえば、**バイオテクノロジー×医療・公衆衛生**で米国に次ぐ世界2位に位置しているほか、**再生可能エネルギー×半導体、先端工業素材×半導体**や**AI×半導体、先端コンピューティング×AI**で米中に次ぐ世界3位となっている。AI×宇宙技術及びAI×公衆衛生、先端工業素材×先端製造技術で米中英に次ぐ世界4位に位置している。世界的に見ても、先端工業素材技術や半導体、AIといった技術領域は学際性が強い領域であり、分野間の複合研究の論文も極めて多い傾向にある。この意味で、日本の複合領域における強みは世界のトレンドとほぼ一致していると言える。

一方で、シェアに焦点を当てると、依然として米国と中国からは大差をつけられている複合領域が多いことも指摘することができる。たとえば、大半の複合領域で米国が 30%、中国が 20%近いシェアを有しているのに対して、日本のシェアはバイオテクノロジー×医療・公衆衛生では 20.3%のシェアを誇るが、それ以外の複合領域はほぼ 10%以下に留まっている。

先端工業素材技術や先端製造技術においては、AI や先端コンピューティング技術を駆使した先端研究が米国を中心に進められていることに鑑みれば、日本においてもより学際的な研究環境を醸成していくことが今後さらに求められるだろう。また、日米中以外の国では、一部に英国が研究者層の厚みを持つ複合領域があり、米国のみならず、英国との共同研究推進、研究者承知を進めることによって、日本の研究者のさらなる育成を進め、競争力を維持・強化することも選択肢のひとつとなろう。

③強いから投資するのか、弱いから投資するのか

繰り返しになるが、本報告書では特定技術のシェアを軸に分析しているものの、特定技術のシェアは経済安全保障上のリスクを検討する際のひとつの指標にすぎない。より具体的な対応のプライオリティを考えるには、本報告書でも描いてきたような技術の用途やそれが喪失した際に生じる問題などを加味しつつ、受容可能なリスクシナリオとそうでないものを明確にする作業が必要となろう。この点は、本報告書の調査結果を出発点として個別技術に焦点を当てたさらなる深堀調査を進めていくことが望ましい。

いずれにしても、どの技術分野に国が投資をするかという問題は、安全保障戦略においても極めて重要な問題である。この問題を経済安全保障の観点からとらえると、成長分野に投資することは当事者へ経済的便益をもたらすとともに、国家の競争力を強化することにもつながるという点で、社会的経済的意義も十分に満たすと考えられる。技術分野における国際協力の促進が安全保障に寄与するという観点でいえば、日本における研究者数、研究組織数ともに少ない極超音速や再生可能エネルギー、半導体に対して、研究土壌の成熟度が低いことを弱みと捉えて投資をするという考え方もできる。

米国や中国は数の面で圧倒的なリソースを有することもあり、あらゆる技術に対して包括的に国家が投資をしている。特に中国は、たとえば先端工業素材分野ではほぼ全ての素材分野に対して包括的に投資をしており、特許申請数もあらゆる素材分野で他国を凌いでいる。こうした全方位的な投資戦略を日本が選択することは、そのリソースそして予算規模からして難しいだろう。

こうした中で、世界で特に注目されているかつ日本に比較優位がある特定の技術領域に投資をしていくことが求められる。この点で、複合領域研究の強化は重要なアプローチのひとつである。核融合技術を例にとれば、核融合の技術開発そのものに投資をすることはもちろん重要であり、多くの国がそうした取り組みを進めていることは間違いない。

一方で、たとえば核融合炉に使用される耐高温素材等は日本が比較的比較優位がある分野であると同時にマルチユースが可能な分野である。核融合技術そのものへの投資も重要であるが、素材のよう

に特定の科学技術の発展に不可欠な要素技術やその素材の研究に集中的に投資を行うことは我が国がとり得る戦略として検討する価値があるだろう。

シェアの大きな同志国

全ての領域において研究者数と研究機関数ともに米国が圧倒的な数を擁する。それに次いで中国が続く形となる。こうしたことからあらゆる技術領域で米中の技術覇権競争を垣間見ることができる。大半の技術領域でこの2国のシェアが全体の半分近くを占めている。またガスタービン技術等いくつかの分野では英国も大きなシェアを有している。同志国に対象を絞れば、米国に加えて英国が大きなシェアを有することになるわけである。今後国際的な技術協力やナレッジシェアリングを促進していく際に、米国はもちろんのこと、英国との協力も重要となるだろう。

一方で、安全保障のアライアンス形成の観点から言えば、英国のインド太平洋戦略には本質的な欠点があることも指摘されている。米英豪間で軍事同盟 AUKUS が締結されたことから、英国のインド太平洋地域に対する関心度の高さが近年増していることは明らかである。しかし、具体的にどのような関係を構築していくかという点については議論が極めて希薄である⁷⁸⁹。こうした問題が技術協力に関しても顕在化する可能性が高く、英国との協力の際には、価値やビジョンの共有はもちろん、より具体的なビジョンやプログラムの策定が重要になるであろう。

2. 経済安全保障の確保に向けた政策的示唆

ここまでの調査内容を踏まえて、最後に日本の経済安全保障の確保に向けたいくつかの政策的示唆及び論点について考えてみたい。

○日本にとっての経済安全保障リスクの不断の再定義

政策的・戦略的判断をするにあたって重要なのは、日本にとっての経済安全保障上のリスクをめぐると定義と基準を明確に持つことである。一般的に言えば、経済安全保障のリスクとは、たとえば①情報・技術・人材の流出リスク、②評判（レピュテーション）リスク、③貿易規制・制裁・投資規制、④サプライチェーンの途絶リスク、⑤職員・学生・研究者等の人権および安全に対するリスクなどが挙げられるだろう。そしてそこには、従来の防衛政策や科学技術政策、産業政策などをはじめとして、さまざまな政策分野にかかわる利害が入り込んでおり、それがいかにして経済安全保障の問題であるのかが問われる。

⁷⁸⁹ Jones, Catherine. "Assurance and Deterrence in the UK's East Asia Policies: (In) credible UK?." *The RUSI Journal* (2023): 1-13.

国家安全保障戦略や経済安全保障重要技術育成プロジェクト等において、現段階でのリスク認識が明示され、それをもとに政策が形成されていくという今日の流れは、政策の実行可能性・検証可能性を高めるといって好ましい。そのうえで、科学技術の発展速度は早く、国際政治情勢も刻一刻と変化するため、上述のような手段を通じて海外の影響力が日本にとって好ましくないかたちで行使されるシナリオは短期間に大きく変わりうる。また、産業競争力の向上、防衛装備品の確保、科学論文の生産といった問題は従来の政策においても長らく重視されてきたポイントであり、それがいかに経済安全保障の問題にかかわってくるのかという政策のフレーミングも一定ではないだろう。したがって、いったん定められたリスク評価やリスクシナリオは常に見直され続けるべきであり、事態への対処という受動的（リアクティブ）な対応のみならず、積極的かつ先見的（プロアクティブ）に抑止力および国際競争力を強化することが望まれる。

○国際連携の選択肢：「第二、第三の連携パートナー」の検討

経済安全保障の観点から国益保護のために自律性・不可欠性を高めていく取り組みはもちろん重要だが、結局のところすべての供給を日本単独で完結させることはできないという前提は常に確認する必要がある。そこで対外連携の強化をつうじて政策選択肢を増やしておくことも重要になってくる。国際的に共有可能な規制ルールを構築しつつ、そこで何を受け入れて何を受け入れられないか、どうしても犠牲になるものは何かということは常に考える必要がある。

経済安全保障の取り組みは軍事安全保障の取り組みとも密接に結びついており、それゆえに対米関係が基調になることは確かである。米国は、経済安全保障についても一定の議論が重ねられているだけでなく、経済版 2 プラス 2 など含めた枠組みが構築されているため、もっとも連携しやすいパートナーでもある。

他方、米国から見れば、科学技術の規制・研究開発等を中心とする国際連携を必ずしも日本を中心に展開しているわけではない面もある。たとえば、人工知能分野ひとつとっても、米国の連携はバイラテラルな国家間関係や統合人工知能センター（JAIC）が構築している多国間枠組みに加えて、TTC、Quad、G7 などを含む複数のミニラテラルな枠組みの組み合わせによって展開されている。その結果として、日米の国益や保有資源が常に良いかたちでかみ合うとは限らない。また、日本は投資の遅れや学術基盤の縮小をはじめとするイノベーション環境の劣化ゆえに、米国と中国に比して科学技術上の競争力において後れを取っているなど、日米が向き合う経済安全保障上の課題やそれを取り巻く環境が常に一致しているとは限らない。

したがって、経済安全保障の実現を目指すにあたって米国との連携を中心としつつも、米国のみにより徹底的に依存するのは避けるべきであり、欧州等を含めた同志国との間で協力関係の多角化を模索し

ておくことが望ましい。しかし、技術分野によって米中以外の強みを持つ国は大きく異なってくるため、技術分野ごとに連携のあり方をデザインする必要がある。たとえば、先進コンピューティングやガスタービン、先進製造、センシング、AI、量子など多くの技術領域において、英国は有力な選択肢となりうるため、包括的な研究協力体制の強化が望ましい。また、ネットワーク技術やフィンテックといった分野においてはインド、サイバーやHMI技術では韓国、オーストラリアといった諸国も連携強化の選択肢となりうる。

○技術開発・利用をめぐる「縦割り」の解消と情報共有の体制

新興科学技術が備えるセクター横断的な開発・利用という特徴と、いわゆる行政の「縦割り」は、イノベーションの効率性という観点からは極めて相性が悪い（後述のマルチユースに関する議論も参照）。とりわけ、日本が技術領域横断的な取り組みに強みを見出そうとしていくのであれば、この問題は早急に解決しておくべきである。経済安全保障という観点からも、多くの機関は経済安全保障を本来任務にしているわけではなく、とりわけ防衛関連のテーマが絡む際にはこれをどこが所掌するかというのは、制度上困難な問題となりうることに留意する必要がある。

現状では、内閣府が所管してきたSIP、ImPACTやムーンショットといった省庁横断型プログラムをのぞけば、公的な研究開発は文部科学省、経済産業省、厚生労働省、総務省、防衛省などが、それぞれの政策目的に沿うかたちで設計し、実施することが基本となっている。こうした既存官庁の制度デザインにおいて、研究開発の成果を特定の目的に閉じずに活用していくことを志向するのはハードルが高い。また、先端的な技術開発および実装を進めるにあたって、国際共同開発（民間ではなく、政府間の）の推進、国際標準等のルール形成、経済安全保障のための国際規制作りなどにかかわっていくことも不可欠のとりくみになるが、そうした外向きの政策実施にあたって一定の役割を果たすことになるであろう外務省自体には研究開発機能が付帯しているわけではなく、現体制下の情報共有には限界がある。さらに、経済安全保障の観点から重要技術の特定・利用・規制を進めるにはその軍事・防衛的な観点からの精査が不可欠であるが、防衛省によるこうした技術情報へのアクセスは制度的には明らかではない。

こうした課題を解決し、経済安全保障の観点から研究開発成果の「マルチユース」を実現するには、特定の省庁が開発した技術を閉じずに全省庁がアクセス可能な体制、ないし技術利用のあり方について省庁横断的に議論・共有する仕組みが必要となろう。この際、必ずしも研究開発プロジェクトそのものを所管する省庁だけでなく、外交・防衛・安全保障を所管する外務省と防衛省もこのプロセスに参画する仕組みを制度的に構築することが望ましい。

この際、各省庁に付随する現行の調査機能は、こうした仕組みの基盤となるに足る優れた調査・企画立案能力を持ち、これを積極的に活用して包括的な情報共有体制を構築していくことが考えられる。しかしその一方、既存の調査機能は必ずしも経済安全保障上のリスク分析をすることを主務としておらず、むしろ、それぞれの所管官庁が元来備えている政策目標の実現のために機能することが想定されているはずである。経済安全保障問題の領域横断的な性質にかんがみて、また、上述の縦割り回避の観点からも、新たに立ち上げられる安全・安心シンクタンクには、あくまでも経済安全保障のための政策調査・提言機能を果たすという観点から、現行の情報統括・企画調査機能を含めてある程度一貫してコントロールする権限を与えるべきである。

また、新たな経済安全保障シンクタンクには、政府が保有する秘匿性の高い情報にアクセスする権限を持たせる必要がある。このために必要なクリアランスは、従来機関等との任務の違いから異なる基準で運用されることが想定されるため、安全・安心シンクタンクに必要な独自のアクセス権限を付与する必要があるだろう。他方、安全・安心シンクタンクに集積される技術情報は、一定程度、省庁横断的に活用されるかたちで制度をデザインする必要がある。その点、クリアランス基準の設定に際して、情報アクセス権限の分類には実効性も踏まえた慎重な検討が必要となろう（秘匿性が高すぎると同シンクタンク自体が縦割りを再強化する可能性がある）。

このほかに、現在進められている内閣府主導の研究開発プロジェクトおよび情報収集体制を敷衍してこうした省庁横断的研究開発・利用の仕組みを再構築することも考えられるが、参画者が各省益の代弁者になり、縦割りの再生産につながることを防ぐための仕組みづくりは同様に徹底すべきである。今後設立される安全・安心シンクタンクがそのためのハブになるとすれば、そこで専従の研究官・行政官を設置すると同時に、産・官・学の充て職・客員・クロスアポイントメント等の制度整備も併せて進め、セキュリティクリアランスを確保しつつ人材の流動性を高められる体制を構築することで、情報の半自動的な流通とキャリア形成が可能な仕組みを作るなどといった対応も考えられよう。

○人材育成

本調査におけるデータおよび考察から考えられるもうひとつの示唆は、人材育成の重要性である。とりわけ、特定分野における研究者のシェアや移動に関しては、中国の「千人計画」やハイテク人材育成計画、あるいは米国におけるSTEM人材育成の取り組みに一定の影響を受けていることが予想される。これらは中長期的な視点から見た研究開発人材の育成という側面があり、日本も中長期的な観点から経済安全保障に重要な特定技術分野を定義し、そうした技術を確保するために必要な人材の育成に努める必要がある。

そのために、中長期的な視点から、現在の研究開発ニーズに従って投資の重点化を行うだけでなく、科学研究のパラダイムシフトを想定し、将来の技術動向や研究課題・社会課題に対応可能な人材の育成を先取りして進める必要がある。たとえば 2030 年、2050 年を射程に量子インターネットを実現させるための研究課題、あるいはそれが実現した際の社会課題に取り組むことのできる人材育成が不可欠である。それには現在研究開発に携わっている研究者だけでなく、高校生や大学生などを含めて将来の研究課題を見据えた育成のあり方を検討し、さらに現在問題となっている初等・中等教育のあり方の再考も含めて、科学技術人材の育成システムを再構築することも考えられよう。また、マルチユースの観点からは、民間セクターにおける研究開発投資が短期的な利益追求に偏る可能性があることをふまえて、政府が長期的視点からリスクを引き受けつつ投資を行う仕組みが必要となろう。

もっとも、短期的な経済安全保障上の課題にも対処しなければならない。たとえば、経済安全保障をめぐる情勢理解や判断能力の欠如、さらには技術の特定作業などをめぐる目利き能力（たとえば政治・経済・外交・軍事・技術の知識を兼ね備えた人材等）の不足は各所から聞こえてくる課題であり、そうした能力を備えた人材は現行の教育制度からは出てこない。このような能力を促成するための短期的な手立てとして、今後発足するシンクタンク機能に教育機能を持たせるなど、情報の収集のみならず、人材育成等を含めた広く一般向けの情報共有の仕組みを整備することが大事になってくるだろう。あるいは中長期的には、経済安全保障の教育・研究を行うための専門機関を立ち上げることも必要となろう。

こうした能力育成の対象には、技術管理者等だけではなく、新興科学技術の研究開発の当事者となる理工系研究者等、さらには国際政治、経済、経営、安全保障を専門とする社会科学系の研究者等も含まれる。これらの人材は、安全・安心シンクタンクにおける調査分析・企画立案の実務のみならず、各省・民間セクターの実務に携わるなど、経済安全保障の専門家人材としてふるまうことが期待される。

また、経済安全保障上の重要技術の研究開発に従事する人材を増加させるために、広く海外から研究者・技術者を集めることは短期的に研究開発能力を確保するという観点から選択肢となりうる。また、グローバルサウスを含む諸外国の人材育成・獲得のための取り組みを併せて実施することによって、日本との技術連携や人材集積の可能性を高める準備をしていくことも重要である。中国も同様の取り組みを実施しており、対抗的な措置としての側面もある。

日本の研究者についても、海外で研究を推進する仕組みを整備し、日本に集積させることも短期的には必要である。もちろん、こうした取り組みは過去にも科学競争力の向上といった目的のもとに行われてきたし、近年もスタートアップ事業者にシリコンバレーへの留学を促す仕組みなどが立ち上がっている。

しかし、これらの諸施策は現状、日本にとって重要な技術の研究開発能力を集積するという目的化していないことは、本調査の国際シェアに関する結果から明らかであり、また、人の移動を伴うこれらの施策について懸念国との関係等リスク情報が加味されてきたとも言い難い。これらの施策について、経済安全保障上のリスクを考慮したかたちでリデザインすることが求められよう。

3. マルチユースのコンセプトをふまえた新興科学技術の実装

○「マルチユース」の検討

科学技術の研究開発成果は、研究者の意図を超えて、学術的な成果だけでなく、産業利用、防災利用、社会システム維持、安全保障等の多様な用途に使用されうる。特に新興技術においては、予め用途が特定されうるものではない。研究開発成果の用途が多様であることについては「科学技術の多義性」と表現されてきたが⁷⁹⁰、直近は、「マルチユース」という言葉で言及されるようになってきている⁷⁹¹。この概念を改めて定義しなおすと、マルチユースを特徴づける要素としては、①技術の用途、②技術の利用主体、③技術を獲得するための資金の出し手等がある。

①については、基礎となる技術は共通しているが、最終的な用途の違いにより求められる精度・能力が異なるという特徴に着目したものである（いわゆる軍民＝デュアルユース）。たとえば、昨今の半導体技術は、家電、自動車等で我々の生活を支える一方、将来空飛ぶクルマの運航やメタバースを構築すると共に、AIの演算能力向上やドローン、ミサイル等の誘導に使用されている。

②については、利用主体が異なる側面に着目したものであり、とりわけ公的利用と民間利用の違いが想定される。たとえば、衛星それ自体や獲得したデータ（獲得のための技術は同じであるが）のように行政による利用と民間における利用がありうるケースが想定される。また、光学センサー技術も好例であり、民間における医療や学術用途から、公的な防災や安全保障の用途に使用されてきた。

このような、用途やユーザーの性質が多様に組み合わさるがゆえに、③については、だれがその発展を担うのかという問題を射程に含める必要が出てくる。たとえば日米欧中は、半導体技術の重要性に鑑み民間企業のみならず国家レベルでも数兆円規模の支援を行い、技術獲得に努めている。他方、民間企業による当該技術の実装に向けた取り組みの程度は、市場への期待・ボリュームの見通しに依存しがちである。その結果として、民間が独自資金のみで行うというものから、複数の民間企業等が結集する技術組合の形態を取り負担するものやそれらに公的支援（アンカーテナンシーや試験環境提供等）が加わるなどの形態が想定されうる。

⁷⁹⁰ （第6期科学技術・イノベーション基本計画）／統合イノベーション戦略 2022

⁷⁹¹ （国家防衛戦略）

○技術の「マルチユース」をふまえた実装の手続き

獲得すべき研究開発成果が、マルチユースであるという特徴を踏まえ、官民の役割分担を踏まえた実装化のアプローチを検討する。

戦略的自律性や戦略的不可欠性が求められる技術については、政策目的を満たす手段として何の要素（技術、制度作り含め）が求められるかを官民で特定するとともに、公的利用、民間利用のそれぞれの出口や実装化の時期を明確化して、研究開発に取り組む必要がある。技術の獲得可能性、獲得後の社会実装の可能性をマルチユースという特徴を踏まえ最大限高める方策の検討が期待される。

技術開発の主体となりうる民間企業にとっては、戦略的不可欠性が求められる技術は技術要素の特定や獲得まで時間もかかり、技術成立性も低く、民間企業だけがリスクを取って技術開発に取り組むインセンティブは乏しい。他方、研究開発費を公的セクターのみが負担した場合、それらが実装化されたとしても、公的利用だけに留まるのならば、公的セクターのみが社会実装の維持費（生産ライン、人員の貼り付け等）を負担することとなり、高コスト傾向となるケースが散見される。また、民間企業に関しても公的セクター頼みの生産は、他の政策の影響や予算の多寡により、年度毎の生産量の振れ幅が大きくなり、安定的に生産基盤を維持、人を貼り付けておく事が出来る生産量を割り込む可能性がある。

マルチユースを踏まえ技術獲得を図ることにより、初期段階のまだ民生利用が多くない段階では、公的セクターでの活用が民間企業にとって一種のアンカーテナンシーとして機能し、民間企業の開発を支えることとなる。他方、民的利用が拡大する段階となれば、膨大な民的利用の生産ラインの一部で公的利用も実装されることとなり、生産の安定性が増し（企業の撤退等のリスク小、高コスト体質回避）、公的セクターは、（予算等の）予見可能性を持って実装化が図られる。

マルチユースを踏まえてこれまで、公的、民生のそれぞれ1つの出口だけでは実装できなかったものが、多様な用途や利用者を想定した投資等により実装化の可能性が高まることが期待される。

○技術の発展段階に応じたアンカーテナンシーの導入

SBI R (Small Business Innovation Research) 制度は、令和3年度、「科学技術・イノベーション創出の活性化に関する法律」に根拠規定を移管し、イノベーション創出に寄与する制度とするための抜本的な改革が行われ、それに基づき令和4年6月に「令和4年度特定新技術補助金等の支出の目標等に関する方針」、「指定補助金等の交付等に関する指針」が策定された。

これらに基づき研究開発型スタートアップ企業を対象に、補助金等の施策が行われている。技術獲得に向けて、フェーズ1から3までの多段階での支援が行われており、さらに技術獲得した後の実装化の際に一定量の公的利用をアンカーテナンシーとして保証することにより民間企業に事業予見性を高めることができる。

○公的利用に係る知的財産の非独占的使用

マルチユースの技術獲得のやり方として、1つの会社、集団が最後まで研究開発を行いきることができれば良いが、途中段階で民間側がギブアップする可能性もあるところ、知的財産に関して公的利

用に係る分については非独占とする契約を交わし、その後異なる会社、集団による研究が開始されたとしても、その段階まで獲得した要素技術は活用できる方策が必要ではないか（企業がギブアップ、倒産した場合また1からやることを回避）。これにより、パートナー企業の安定性を過度に重視し、これまでと代わり映えしない企業だけではなくベンチャー等新たな企業の参画が期待される。

○マルチユースを踏まえた実装化の具体的事例

たとえば宇宙開発の分野においては、米国 NASA が COTS (Commercial Orbital Transportation Services) プログラムを実施した。NASA と民間企業のパートナー企業との官民による共同開発 (NASA \$396M/スペース X \$454M) を行い、宇宙輸送能力のサービス調達を図ったが、COTS は当初より商業打ち上げ市場環境の構築も視野に入れており、結果的に COTS を通して構築した輸送能力において、スペース X は商業打ち上げ市場で大きなシェアを獲得している。ISS への宇宙飛行士の輸送 (クルードラゴン) となれば公的利用であり、スターリンク衛星や受託した他社 (国) 衛星の打ち上げを行うとなれば民生利用である。特にロケットサービスは信頼 (打ち上げ実績) が重要であり、実績が少ない段階では NASA による発注がアンカーテナンシーとして機能し、スペース X の信頼づくりと資金繰りを支えたと考えられる (もっとも、そのスターリンクシステムがウクライナに提供されたことに着目すれば、こうした技術の用途の境界線があいまいであるということも意識させられることになる)。

また、日本の海洋分野においては、経済安全保障重要技術育成プログラムにおいて AUV の慣性航法精度向上・運用手法の効率化を進めようとしているが、海洋基本計画においては、海洋資源開発関連産業の戦略的展開として、民間企業への技術移転 (洋上風力発電所のメンテナンス、海底ケーブル検査、海底資源・水産資源調査等) につながることを見据え共同研究開発、国際標準化を進めていくことが記載されている。

○「協議会」での官民の役割

マルチユースを踏まえて新興技術の開発を効果的に実施し、その社会実装を加速させるには、経済安全保障推進法に定められた「協議会」で下記の役割分担に基づく体制を構築し、幅広い民間プレイヤーの参画を促すことが望まれる。協議会においては、官は①公的利用としての利用者 (ユーザー)、②技術獲得を図る際の既存技術や、試験環境設備の提供先 (メーカー)、③実装化を見据えた、制度・ルール作りを行う (ルールメーカー) といった役割が想定される。参画する民間企業は、研究開発の実施、量産化、(市場・サービスがあれば) 運用などさまざまなフェーズに関与することが見込まれるため、協議プロセスの早い段階からこれらの取り組みに関わる民間企業のニーズや課題を議論の俎上に載せていくことで、社会実装を加速させることができるのではないかと (たとえば、量産化の立場の者からはサプライチェーン等の課題、運用者からは実装での運用性、利用者の利便性、騒音等の社会受容性といった課題が提出されるかもしれない)。

官民の協議により、民間企業は、①からアンカーテナンシー等としての公的利用の規模を探り、②により技術成立性を高めるための方策を検討し、③により民生利用の時期、事業実現性を検討し、自

らも技術獲得、事業化までの金融ファイナンスも含めたロードマップを検討できるのではないだろうか。

○シンクタンクでの諸外国でのマルチユースによる研究領域の探索

産学官のデータベースおよび調査能力（たとえばアスタミューゼ社や eCSTI 等）を活用し、グラント、知的財産の公的セクター、民間企業の割合調査を通じて諸外国においてマルチユースを踏まえて実施している研究領域を見つけられる可能性があるのではないか。また、諸外国でのマルチユースの特徴を踏まえた、課題発見、支援パッケージ等に向けた引き続きの調査が必要である。

4. 情報収集体制の構築に向けて

マルチユースのコンセプトに基づく技術開発・実装を進めていくには、官民どちらの視点にも偏らず、かつ、従来の科学技術政策や経済産業政策のみならず軍事・防衛の視点を踏まえた情報収集を進め、それを経済安全保障の文脈に落とし込んだ分析につなげていくことが不可欠である。さらに、技術開発を国内政策としてだけでなく、国際協力やルール・規範形成にもつながるような戦略に展開することを見据えることも重要であろう。こうした観点から、今後発足するシンクタンク機能において継続調査を進める場合に、こういったポイントについて、どのような体制・データを用いて定点観測すべきかを提示する。

5. 継続的な技術的なキーワードの更新

冒頭で論じた通り、今年度の事業においては、指定された 20 技術分野について広範囲調査を実施したが、これらは米国の「輸出管理改革法（ECRA）」、および「重要・新興技術戦略」を参考に、日本独自の関心を加味してリスト化されたものと思われる。それをもとに、本事業では米国が 2022 年 2 月に省庁横断的な検討を通じて更新した「重要・新興技術戦略」のサブカテゴリーリストに基づいて調査対象技術の細分化を試み、情報が欠けている領域については追加のキーワード指定を行った。

言うまでもなく、もとより米国のリストは米国自身の関心や視点を反映して組み立てられたものであり、必ずしも日本にとっての重要性を踏まえたものとなるとは限らない。米国の定義中心、あるいは現状で想定されている用途ベースで安全保障上の懸念や重要性を深堀していただくだけでなく、比較優位のある技術分野から安全保障上の位置づけやニーズを作り出していくための方策も考えていく必要がある。

そのためにもまず、日本の経済産業・科学技術政策的な視点からキーワードを抽出する必要がある。この点についてはすでに、NEDO-TSC や JST の分析でも進められているところである。そのうえで、軍事安全保障的な観点からのキーワード抽出を進める必要がある。本事業でも各国安全保障政策を参照したうえで軍事上の重要技術をあぶりだす作業を試みているが、より重要な作業として、防衛省・防

衛装備庁との定常的な連携をつうじて、日本の防衛政策・防衛計画をふまえた技術ニーズを継続的に反映させる必要もあろう。

経済安全保障上の重要なキーワードを抽出するために少なくともこれらの、米国（および各国）の技術動向や関心、日本の経済産業・科学技術政策、日本の軍事安全保障政策の三つのオーバーラップ領域を確認したうえで、日本独自の重要技術リストを作成していく必要がある。また、変化の速い技術とそうでない技術の階層を作ったうえで、毎年、隔年、三年に一度など、自前調査・委託のバランスや頻度を検討するなど、持続可能な調査のための工夫が必要である。

参考文献

- Juan Guerrero-Ibáñez, et al. Technologies for Intelligent Transportation Systems. Sensors (Basel). 2018 Apr; 18(4): 1212. DOI:10.3390/s18041212
- IAEA. 2020. *Advances in Small Modular Reactor Technology Developments*. Austria: IAEA.
- Cl aessens, Michel . 2020. *ITER: The Giant Fusion Reactor: Bringing a Sun to Earth*. Springer Nature.
- Department of Energy. (2021, December 10). 6 Things You Should Know About Nuclear Thermal Propulsion. Retrieved from <https://www.energy.gov/ne/articles/6-things-you-should-know-about-nuclear-thermal-propulsion>
- Ichord, Robert F. Jr. and Jennifer T. Gordon. (2020). *Innovation in Nuclear Energy Technologies: Implications for US National Defense*. Washington, DC: Atlantic Council.
- King, Marcus, LaVar Huntzinger and Thoi Nguyen. (2011). *Feasibility of Nuclear Power on U.S. Military Installations*. CAN.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2021. *Space Nuclear Propulsion for Human Mars Exploration*. Washington, DC: The National Academies Press.
- National Research Council. (2006). *Priorities in Space Science Enabled by Nuclear Power and Propulsion*. Washington, DC: The National Academies Press.
- NASA. (n.d.). Advanced Stirling Radioisotope Generator (ASRG). Retrieved from <https://rps.nasa.gov/resources/65/archival-content-advanced-stirling-radioisotope-generator-asrg/>
- NASA. (n.d.). Radioisotope Power Systems. Retrieved from <https://rps.nasa.gov/missions/17/transit-iv-a/>
- The National Academy of Sciences. (2009). *Launching Science: Science Opportunities Provided by NASA's Constellation System*. Washington, DC: The National Academies Press.
- OECD. 2021. *Small Modular Reactors: Challenges and Opportunities*. Nuclear Energy Agency Organisation For Economic Co-Operation and Development.
- Robyn, Dorothy and Jeffrey Marqusee. (2019). *The Clean Energy Dividend: Military Investment in Energy Technology and What It Means for Civilian Energy Innovation*. Information Technology and Innovation Foundation.
- Prelas, Mark. (2016). *Nuclear-Pumped Lasers*. Springer.

Benford, James, John A. Swegle, & Edl Schami loglu. (2007). *High Power Microwaves, third edition*. CRC Press.

Ellis, Jason. (2015). *Directed-Energy Weapons: Promise and Prospects*. Center for New American Security.

Parmentola, John and Tsipis, Kosta. (1979). Particle-Beam Weapons. *Scientific America* 240.

Pongratz, Morris B. (2017). Los Alamos Participation in Active Experiments in Space. New Mexico: Los Alamos National Laboratory. Retrieved from

<https://perma link.lanl.gov/object/tr?what=info:lanl-repo/lareport/LA-UR-18-20883>

Roberds, Richard M. (1984). Introducing the particle-beam weapon. *Air University Review*, 35(5).

Sayler, Kelley M. (2021, September 28). *Department of Defense Directed Energy Weapons: Background and Issues for Congress*. Congressional Research Service.

The US Army Centre of Military History. (1983). *Department of the Army Historical Summary, FY 1981*. Washington D.C. U.S. Army Center of Military History).

原子力エネルギー技術

IAEA. 2020. *Advances in Small Modular Reactor Technology Developments*. Austria: IAEA.

Cl aessens, Michel . 2020. *ITER: The Giant Fusion Reactor: Bringing a Sun to Earth*. Springer Nature.

Department of Energy. (2021, December 10). 6 Things You Should Know About Nuclear Thermal Propulsion. Retrieved from <https://www.energy.gov/ne/articles/6-things-you-should-know-about-nuclear-thermal-propulsion>

Ichord, Robert F. Jr. and Jennifer T. Gordon. (2020). *Innovation in Nuclear Energy Technologies: Implications for US National Defense*. Washington, DC: Atlantic Council.

King, Marcus, LaVar Huntzinger and Thoi Nguyen. (2011). *Feasibility of Nuclear Power on U.S. Military Installations*. CAN.

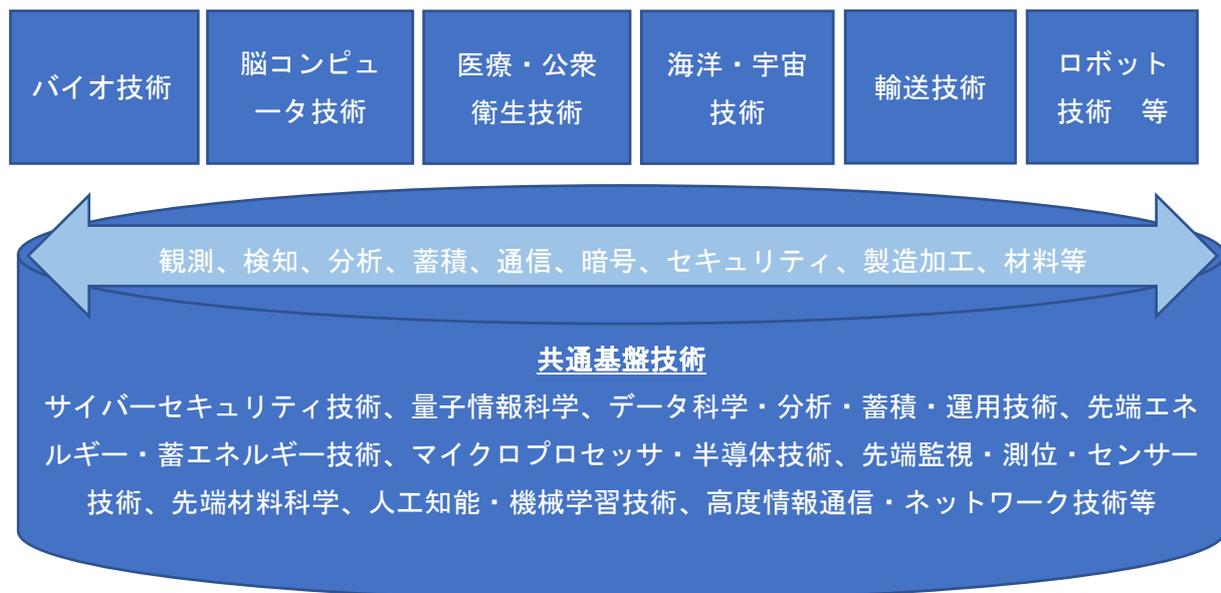
National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2021. *Space Nuclear Propulsion for Human Mars Exploration*. Washington, DC: The National Academies Press.

National Research Council. (2006). *Priorities in Space Science Enabled by Nuclear Power and Propulsion*. Washington, DC: The National Academies Press.

- NASA. (n.d.). Advanced Stirling Radioisotope Generator (ASRG). Retrieved from <https://rps.nasa.gov/resources/65/archival-content-advanced-stirling-radioisotope-generator-asrg/>
- NASA. (n.d.). Radioisotope Power Systems. Retrieved from <https://rps.nasa.gov/missions/17/transit-iv-a/>
- The National Academy of Sciences. (2009). *Launching Science: Science Opportunities Provided by NASA's Constellation System*. Washington, DC: The National Academies Press.
- OECD. 2021. *Small Modular Reactors: Challenges and Opportunities*. Nuclear Energy Agency Organisation For Economic Co-Operation and Development.
- Robyn, Dorothy and Jeffrey Marqusee. (2019). *The Clean Energy Dividend: Military Investment in Energy Technology and What It Means for Civilian Energy Innovation*. Information Technology and Innovation Foundation.
- Prelas, Mark. (2016). *Nuclear-Pumped Lasers*. Springer.

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、ゲノム全体を広い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

(別表1) SWOT分析(便宜的な整理であり、絶対的な評価ではないことに留意)

調査分野	健康医療(深堀)	サイバーセキュリティ(深堀)
S(強み)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 理化学研究所「富岳」を用いた分子動力学シミュレーション ・ 高速原子間力顕微鏡を用いた研究 	<ul style="list-style-type: none"> ・ IoT用ハニーポット技術
W(弱み)	<ul style="list-style-type: none"> ・ スピードとワクチンや薬物開発への連動 ・ mRNA ワクチン分野に投資するべきではあるが、世界の先頭集団である米国とドイツには遅れをとっている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ IIoT, CPS などの環境自身の構築に現状は焦点が当たっており、概要的なセキュリティのガイドラインはあるものの、具体的な攻撃が十分に把握できていない ・ IIoT, CPS などの環境を研究機関が保有することも難しく、環境を提供する組織体との強い連携が必要になる
O(機会)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 植物由来ウイルス様粒子ワクチンはユニバーサルワクチンとしても使い得るため、パンデミックワクチンとしては適しているし、季節性インフルエンザ用ワクチンなど平時にも使える。 ・ スマートフォンを蛍光顕微鏡に変えることができれば在宅医療の現場でも新型コロナの診断が可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ NIST サイバーセキュリティフレームワークは、実際に攻撃を受けたときの「検知」や「対応」や「復旧」といった事後対応までを網羅する。
T(脅威)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 未知の感染症(Disease X)のパンデミック化 2. パンデミックの短周期化 	<ol style="list-style-type: none"> 1. サイバー攻撃の高度化 2. CUI(Controlled Unclassified Information)への対応
提言	<ol style="list-style-type: none"> 1. 体制の構築 <ul style="list-style-type: none"> ・ 官邸主導省庁横断型の体制で国家戦略を立てるべき ・ 公衆衛生上の緊急事態の宣言とセットで規制緩和を実施する ・ 平時より全国規模でランダム化臨床試験を実施できる体制の構築 ・ ワクチンや薬剤を大量生産する場合、マスクなどの個人防護具のサプライチェーンを確保する ・ 全国ウイルスサーベイランスシステムの再構築 2. ワクチンの研究開発 <ul style="list-style-type: none"> ・ 国産にこだわらずグローバル製薬企業に投資し育成する ・ ウイルスファミリー毎にワクチンと薬剤のプロトタイプ開発 ・ インフルエンザやRSウイルスなど気道系感染症に対するユニバーサルワクチンを開発し社会実装する 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 攻撃観測環境の強化によるマルウェア捕獲能力の向上 2. 複数組織によるマルウェア解析の実施での解析精度向上 3. 統合分析能力の強化 4. さらなる深層的な解析研究の推進 5. クラウドサービスのセキュリティ強化

調査分野	海洋・宇宙（深掘）	脳コンピューター・インターフェース技術
S（強み）	<ul style="list-style-type: none"> ・衛星による洋上船舶の観測につき、合成開口レーダ（SAR）と AIS を組み合わせた利活用 	<ul style="list-style-type: none"> ・BMI/BCI のハードウェア面での高い製造技術力 ・各機関が連携して BMI/BCI の研究を進めている。 ・ニューロフィードバック等の先端的研究を実施している。
W（弱み）	<p>各省庁の現業機関、研究機関、自治体、民間がそれぞれの目的で個々に海洋を監視、観測、データ集積、分析を行っている</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・アプリケーションやプラットフォームでグローバルスタンダードを取ることは難しい。 ・文化的な特性から、非侵襲的な BMI 技術の研究開発が主流である。
O（機会）	<ul style="list-style-type: none"> ・宇宙からの広域監視 雲や気象の影響の少ない衛星を使った電波監視や合成開口レーダ ・船舶の位置情報の高度化 従来の AIS の進化バージョンとしての衛星 VDES ・防衛能力の飛躍的な向上 再生可能エネルギーで動く無人監視船、超長距離潜航が可能な AUV など、技術の組み合わせ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ウェアラブルロボット、神経筋電気刺激、脳刺激、VR/AR 等と組み合わせた、神経原性運動障害に対するリハビリテーション応用や、VR や AR、身体拡張などの IT 技術との連携。 ・人間の認知および感覚運動機能の修復などの医療・ヘルスケア分野やマーケティング、教育などの一部の分野・用途で実用化に向けた取り組みが進められている。一方、人間と機械を融合するインターフェース技術としても研究開発が進展している。
T（脅威）	<ol style="list-style-type: none"> 1. 周辺国の海洋進出、領海侵入、事故、資源略奪 2. 海洋環境変動（自然起源、人為起源）による生態系変動 3. 官民でのデータ未共有 	<p>中国では、生物に対しても人の脳信号から遠隔操作する研究実験を進めている。脳制御に関わる技術に関する研究を軍民融合で進めている</p>
提言	<ul style="list-style-type: none"> ・我が国の広大な海洋権益を守るためには、海洋監視に関する先端技術の整備と高度化を進めることが最も大事なこと。監視、観測とデータ集積・共有について省庁を横断する連携体制の構築が必要不可欠である。 ・データの機密性と公開性という相反する条件をスムーズに実現するための管理体制を構築することが肝要であり、これを支援する一元管理機関の早期設置。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ハード面では、BMI/BCI の商用利用、ユーザビリティ、価格面で国際的な競争力をもたせること。また、他の新興技術と組み合わせた応用技術で世界をリードしていくこと。アプリケーションやプラットフォームの分野に関しては市場競争のみに委ねず、BMI/BCI を利活用する国際的なプラットフォームを支援することが必要。 ・BMI/BCI の安全保障利用についても国防上のニーズに耐えうるレベルの技術と製品を開発していく体制を構築すること

調査分野	バイオ技術	量子情報科学
S (強み)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 合成生物学分野における高い技術力 ・ NEDO を通じて実施した「生物機能活用型循環産業システム創成プログラム」が合成生物学研究の先駆的事例 ・ 文部科学省で実施された「革新的細胞解析研究（セルイノベーション）」では、高速シーケンサーによるゲノム情報等の解析や細胞イメージングの手法を活用した生命機能の解読 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 日本は QKD の速度や標準化の面で一定の強み
W (弱み)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 民生利用に限られ、倫理的配慮に基づく研究環境ゆえに、CBRN 事態や新たな感染症によるパンデミック、特定の遺伝子や細胞、代謝経路などに有効な生化学兵器などへの対応は難しい。 ・ 生命倫理の問題から、研究開発やバイオビジネスにも一定程度の抑制が働いている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ QKD については中国や米国が先行している。ただし、米防衛科学委員会（Defense Science Board）は、QKD は米軍が任務遂行に使用し得るだけの十分な保全性を達成していないと公表している。 ・ 量子研究は米中に後れを取っており、量子コンピューター分野をはじめ、独自の研究エコシステムの構築は困難。
O (機会)	<p>合成生物学の軍事・安全保障への応用分野として、①分子バイオロポット、②生物電池、③生体材料、④バイオセンシング、⑤バイオ製造（細胞培養など）、⑥バイオミメティック（生体模倣技術）、⑦バイオ（DNA）コンピューティング、⑧バイオ暗号化、⑨ブレイン・コンピューター・インターフェースがある。</p>	<p>社会を大きく変化させ得るゲームチェンジングな技術である量子インターネット時代に向け、QPU や量子インターネットに関する研究を拡大。</p>
T (脅威)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 合成生物学の悪用（軍事転用） 2. 中国の研究開発スピードは他国を圧倒 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 従来のセキュリティが突破される懸念 2. 中国の研究開発スピード
提言	<ul style="list-style-type: none"> ・ 合成生物学の基礎研究分野、バイオ・アグリカルチャー、また民間においては生体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。 ・ 技術競争の観点から言えば、グレーゾーンをある程度許容し、研究開発・社会実装上の規制を緩和した上で研究開発を進めることによって課題や問題点に対処する、ネガティブリストにシフトすることが必要 	<ul style="list-style-type: none"> ・ QKD を推進するのであれば、米国と方針を違えたときのシナリオも検討しておくべきである。 ・ 量子コンピューティングは日米協力を軸に進めていくべきである。ただし、暗号解読においては同盟国である米国と共有されない。そのため、独自の開発も継続する必要があるだろう。

調査分野	データ科学・分析・蓄積・運用技術	宇宙関連技術
S (強み)	「人工知能と機械学習」を参照	日本の強みを活かせる分野の一つが、小型衛星コンステレーションシステム、特に光通信の分野である
W (弱み)	データ科学人材の人材育成には時間がかかり、この分野の利活用が遅れば遅れるほど世界的な競争力を失う。また、データ人材に対する報酬体系も、諸外国の事例に合わせて引き上げていく必要がある	AIの小型衛星コンステレーションへの応用で重要となる技術は、強化学習やリモートセンシング・解析ツール、データサイエンティストによるデータ処理や演算であり、その分野の人材獲得・育成が急務。
O (機会)	現在、ビジネスの世界ではデータ人材の世界的な争奪戦が行われている。産業界では「個人（ビッグ）データ」の利活用が進み、そのデータから大きなビジネス上のインパクトを出すデータサイエンティストは成長ドライバーとして、今後さらに重要性が増していくだろう。	<ul style="list-style-type: none"> ・衛星コンステレーションによる光通信を実現した際に、衛星と地上局間の情報のやり取りをセキュアにする「量子暗号通信」が注目されている。 ・衛星から地球観測を行う「リモートセンシング」は、気象観測や防災、安全保障、農業などさまざまな用途で用いられている。特に軍事面では、観測衛星を用いた「地理空間情報インテリジェンス（GEOINT）」が注目を集め、また、観測衛星コンステレーションの、弾道ミサイルの早期警戒や海洋状況監視など安全保障面への応用が期待されている。
T (脅威)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 個人情報やSNS等のソーシャルデータ分析の悪用 2. データ人材の世界的な争奪戦 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 中国の技術開発動向 2. AI関連の人材獲得・育成が急務
提言	<ul style="list-style-type: none"> ・「個人情報」は今後、軍事・安全保障上より重要なファクターとなる。そのデータ蓄積と運用については、国家レベルの議論と制度設計が必要。経済安全保障、特に個人データの保護の観点と、データを蓄積・運用する民間企業の経済合理性の観点の両面から、この問題を検討していく必要がある。 ・様々な分野において、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、コンピューターによるシミュレーション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。データサイエンス分野は前提ともなりうるため、人材育成は分野横断的に進めるべき。 	<ul style="list-style-type: none"> ・宇宙に関連する技術分野は極めて広範囲にわたるが、小型コンステレーションによる光通信技術や、量子暗号通信など、「データの送受信」に係る分野は、データ科学や人工知能分野と重複する点であり注目に値する。こうした広範囲調査項目で「宇宙関連技術」と重複する分野のさらなる調査が必要だろう。すなわち、「データ」や「AI」などの他の領域から受ける影響と、他の領域へ与える影響の両面を検討していくテーマ設定が求められる

調査分野	CBRN 緩和技術	先進エンジニアリング・製造技術
S (強み)	<p>地下鉄サリン事件や福島第一原発事故対応などの CBRN 事態を経験してきた日本では、様々な機関で CBRN 関連技術と位置付けられる基盤整備が進められ、先進技術や装備品の拡充が図られている。</p>	<p>今回調査はSWOT分析が目的ではないため記載なし</p>
W (弱み)	<p>日本のCBRN緩和技術開発は欧米に比べ規模がかなり小さい。</p>	<p>他国が導入しているからといって日本も導入すべきであるということにはならないが、日本の戦略的ニーズに照らし合わせて、要否を検討する必要がある。</p>
O (機会)	<p>技術の具体例は、AI や自動学習機能による CBRN 施設や実験場の画像分析による警告システムの配備、バイオテクノロジーによる病原体や兵器の検出、UAVやドローン等を使用した事故現場の監視、ロボットや遠隔操作車両などのリモートセンサー技術による危険地でのデータサンプルの収集や除染作業などがある。</p>	<p>3D造形については、サプライチェーンセキュリティの見直しが進められる近年の問題意識に基づいて、民生面での重要性もより一層高まる事が予想される。</p> <p>経営コスト削減の観点からジャストインタイム型の物流の利点が強調されてきたものの、コロナ禍やウクライナ戦争等の危機によって在庫を持たないことのリスクも明らかになってきており、諸々のリスクとコストを調和させた新たな物流のあり方を考えるうえで 3D造形技術の積極活用策を検討すべき。</p>
T (脅威)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 先進技術の悪用 2. 兵器としての特定が困難 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 3Dプリンタ技術の軍事転用 2. サイバー攻撃
提言	<p>CBRN の定義は防衛のみならず医療対応や原発事故等を含み多岐にわたるため、CBRN 独自の非防衛的なニーズを防衛のニーズに反映させ、欧米のような連邦政府の方針に基づき産学官 が連携して大規模に CBRN 対応能力を強化する体制を整えることが望ましい。</p>	<p>3D プリンタによってサプライチェーンをサプライポイント化するべき。輸送コストを抜本的に改善し在庫リスクを大きく低減させるだけでなく、製造ラインが不要になることで迅速な提供が可能。</p>

調査分野	先端エネルギー・蓄エネルギー技術	サイバーセキュリティ技術
S (強み)	<ul style="list-style-type: none"> ・リチウムイオン蓄電池の組み立ては東アジアにその拠点が集中していることもあり、日本は米国のバッテリー・サプライチェーンの中核を担っている。 ・特に、銅、鉄、亜鉛及び炭素等の安価かつ資源リスクの少ない材料を使用し、高エネルギー密度化と安全性の両立を実現可能なフッ化物電池と亜鉛負極電池の開発では日本が世界をリードしている。 ・日本は世界初の水素国家戦略として「水素基本戦略」を2017年の段階で既に策定しており、水素燃料で技術的に世界を牽引することを目指している。 	今回調査はSWOT分析が目的ではないため記載なし
W (弱み)	車載用、定置用リチウムイオン蓄電池のシェアは大幅に縮小傾向にあり、高い技術力とは裏腹に市場の拡大が課題。	世界的な脅威アクタと我が国の国内法人に対して実施したサイバー攻撃とのアトリビューションが日本主導で実施されたものの、各国が協調して実施した主要な協調的オペレーションに我が国は何れも参加していない。
O (機会)	水素発電技術のイノベーションにおいて、技術開発における韓国とのさらなる連携強化が期待される。水素技術におけるアジア初の技術イノベーションを世界に向けて発信していくことが今後さらに期待される	法執行機関を持つのは主権国家であることから、グローバルなインターネットを構成する各国が責任を持ってサイバー攻撃を引き起こす脅威アクタに対する実効力の伴った対応を実施すると共に、各国が連帯することによる協調的なオペレーションがなお一層必要となる。
T (脅威)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 中国のバッテリー技術内製化 2. バッテリー素材の中国依存 	<ol style="list-style-type: none"> 1. クラウド技術を標的とした攻撃の増加 2. クラウドとオンプレミス間の脆弱性修正の重要度拡大
提言	<ul style="list-style-type: none"> ・日本はアジアにおける水素発電におけるリーダーシップの発揮と対米リチウムイオンバッテリーサプライチェーンの補強を進める必要がある。また、比較的日本に強みがあると言われる材料技術分野との横断的な研究開発をより一層加速させることで、資源リスクの問題に対応することも求められる。 ・蓄電池技術においては、日本は米国の蓄電池産業の重要なサプライチェーンの一部を担っていると言える。サプライチェーンにおいては、日米同盟を基軸として米国と強固な連携を継続していくことが求められる。 	<p>近年のサイバー攻撃への対処にあたり、以下の防御戦略の確立が必要</p> <ol style="list-style-type: none"> ①異常な活動を検出するために組織のネットワーク全体にログを配置すること ②脆弱性パッチを優先的に適用するための堅牢で効率的な脆弱性管理プログラムを構築すること ③既知の悪質な行動を追跡するためのハンティングパッケージを実装すること ④警告の優先順位付けに役立つ既存のセキュリティ技術に脅威インテリジェンスを統合すること <p>などを含む防御戦略を確立する必要がある。</p>

調査分野	ロボット工学	マイクロプロセッサ・半導体技術
S (強み)	<p>ロボット工学分野全般において、日本は商用分野で歴史的に強みを発揮してきた</p>	<p>・前工程で使用される半導体製造装置（SME）は、最も技術的に進んだ産業用装置である。米国は、世界のSMEの約半分を生産し、日本は約3分の1を生産しており、最先端のSMEのほとんどは日米およびオランダのASML社が供給している。</p> <p>・パワー半導体は、省エネルギー・グリーン化のためのコアとなる部品であり、日本が国際競争力を維持している。</p>
W (弱み)	<p>UAV/UUV/UGVを含むロボット技術は民間セクターでの急速な発展を背景に、各国での軍事利用が加速しており、戦場の無人化が進むことが予想される。</p>	<p>日本は世界第一位のロジック半導体の工場数を持つにも関わらず、最先端の製造力を保持していない。</p>
O (機会)	<p>商業用のロボット工学分野を持つ日本の強みを、安全保障目的で活用していく体制構築が必要である</p>	<p>高性能液晶性半導体、薄膜トランジスターの開発、磁気抵抗メモリの考案等、次世代の半導体の技術・生産能力を高めること</p>
T (脅威)	<ol style="list-style-type: none"> ドローンを悪用した重要インフラへの攻撃 ドローンとAIを一体化させた自律攻撃構想（ドローンスウォームシステム） 	<p>AIチップの開発を中国が加速</p>
提言	<p>・商業用のロボット工学分野を持つ日本の強みを、安全保障目的で活用していく体制構築が必要である。そのために、防衛省・自衛隊における戦略上・作戦上のニーズを特定し、無人化や省力化の目的を明確にする必要がある。</p> <p>・軍事目的、民生目的を問わず、無人化・省力化のニーズは、人口減少下の日本において大きくなるのが容易に想像される。民生面での生産性向上の観点からも、日本に強みのあるロボティクスの分野を活用していくことが重要になる。</p> <p>・ただし、ロボティクスの関心は複雑な人工知能を導入することによる自律化の方向に進んでいるため、日本が同様のトレンドにのってロボット工学分野の強みを活用していくに際しても、人工知能分野の発展、あるいは高度情報通信やセンシング技術など関連分野のパッケージでの発展を検討する必要がある。</p>	<p>・メモリ、センサー、マイコン、パワー半導体などの一部の部品に対する製造装置や素材産業の競争力を維持し続けることが重要である。この点において、日・台・欧米等との協力、ならびに国際共同研究や人材育成などを促進する政策支援を掲げ、積極的な市場への介入が望まれる。</p> <p>・最先端を求めるだけでなく、最適なレベルの半導体利用のあり方＝目的に従った機能性の高い半導体を製造するための研究開発を精査する必要がある。</p> <p>・ディープラーニング等の重要な機能と連動するAIアクセラレータチップの研究開発の例にもあるように、目的に従った機能性の高い半導体を製造するための研究開発に力を入れるという視点を政策に反映させることが重要である。</p>

調査分野	先端監視・測位・センサー技術	先端素材化学
S (強み)	今回調査はSWOT分析が目的ではないため記載なし	日本は素材科学分野で多くのノーベル賞を受賞する等、当該分野で世界をリードしてきた。
W (弱み)	UUV やUGV が発展した場合、日本は生身の自衛官がロボットを前面に押し立てる軍と戦うことになりかねない。	<ul style="list-style-type: none"> ・米国の素材研究がラボからインフォマティクス技術によるデータ分析等に移行する中で、日本の素材研究はラボでの実験に依存する傾向が強い。 ・AI やシミュレーション、マシンラーニング等関連する先端技術の素材研究分野への応用において海外から遅れを取る傾向にある。
O (機会)	<ul style="list-style-type: none"> ・GPS が使用できない環境下での測位を目的とした技術は APNT(Assured Position, Navigation, and Timing)と総称されており、電波妨害に対する耐性も強い。 ・量子センサーは、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。 	AI 等と融合させる形で素材研究を世界でリードできれば、あらゆる新興技術のサプライチェーン上で有利な地位を築くことができる。
T (脅威)	<ol style="list-style-type: none"> 1. ドローンを使用した監視能力の発展 2. 監視される側の対抗技術の発展 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 中国の研究開発力の向上 2. 諸外国はAIを有効的に活用している
提言	<ul style="list-style-type: none"> ・先端監視・測位・センサーに関連する技術の蓄積を通じて、大規模データを構築していく取り組みは必須である。また、集積したデータをどこに格納し、運用するのかという問題も生じるため、データ科学・分析・蓄積・運用技術分野における取り組みとも連動しうる。 ・センシング技術の投資については他分野における用途を明確にしながら進めることも視野に入れる必要がある。また、その意味ではセンサー技術の重要性は軍事・民生双方にまたがるものとなっている。 	バイオやエネルギー、極超音速をはじめとする多くの分野で新たな素材開発への期待が高まっており、分野横断的な素材開発を進めることが肝要。

調査分野	海洋関連技術	輸送技術（自動運転）
S（強み）	<p>(1) 海流発電 海流発電の実証試験を開始している。</p> <p>(2) 無人潜水機（AUV） 日本は民用開発では世界トップレベルである。</p>	<p>・ITS（Intelligent Transportation System）は日本発祥の研究である。人と道路と車両を結び、交通事故、渋滞等といった道路交通問題の解決を目的に構築するシステムの総称で、1970年代から研究が始まり、道路交通情報システム（VICS：Vehicle Information and Communication System）や自動料金収受システム（Electronic Toll Collection System: ETC）を皮切りに様々なシステムが普及した。</p> <p>・日本は、国連の「車両等の型式認定相互承認協定」の枠組みの中の「自動車基準調和世界フォーラム（WP29）」の自動運転分科会のサイバーセキュリティ専門家会議における共同議長を務めている。</p>
W（弱み）	<p>海流発電の技術開発は、欧州（特に英国）や米国を中心に進められている。</p>	<p>自動運転は様々な技術で構成されるが、AIやIoTなどの技術に関する言及はなされているものの、これらを除く先端技術に関する記述が見られない。</p>
O（機会）	<p>海流発電は、将来は日本のベースロード電源を担い、低廉な発電コストの再生可能エネルギー技術となりうる。</p>	<p>自動運転プラットフォームのサイバーセキュリティには、米国国立標準技術研究所（NIST）のフレームワークが適用されるように、サイバー攻撃に耐えられる適切な標準が必要となる。これが意味するところは、米国の国家戦略に因るところも大きい。量子技術の安全保障上の意義が強調されたうえで自動運転技術の議論がなされている点で、向かうべき方向性が明確に示されていると言える。</p>
T（脅威）	<p>AUV（無人潜水機）の軍事転用が進む</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. GPSに頼らない自動運転技術の開発 2. サイバー攻撃
提言	<p>・海流発電に関して、国内での実用化を促進するために政府主体で協力することが望ましい。場合によっては、世界で最も開発が進んでいる英国との協力なども考えられる。</p> <p>・UAVに関しては、今後価格が低下し、入手の可能性は高まるだろう。一般的なドローンのように、企業や研究者、一般ユーザーなどに現在多く利用されているが、日本政府は、これらのシステムの運用方法に関する法律や規制を制定する必要がある。</p>	<p>・輸送・旅客ともに日本や世界の交通が自動運転に切り替わっていくとすれば、それは交通インフラの基幹ともなっていくことを意味するため、積極的な技術保護・育成を進めることの重要性は大きい。</p> <p>・物理的な技術開発と情報システム構築の統合によって成立する自動運転技術はどれか一つの要素が欠けると成立しない。特に情報システム構築のための技術は、量子やAIなど先端要素技術に多分に依存することから、同盟国や友好国との連携を促進し、研究領域で利害が重なる点においては安全性と信頼性の確保を担保することが求められる。</p>

調査分野	人工知能・機械学習技術	極超音速技術
S (強み)	今回調査はSWOT分析が目的ではないため記載なし	今回調査はSWOT分析が目的ではないため記載なし
W (弱み)	AI-ML に関連する標準化の動きは、NATO 内、あるいはEU-US 貿易技術評議会、AUKUS、中国ASEAN 協力の中で、少なくとも対話レベルでは進展している。	ロシアや中国は極超音速兵器を既に配備している。もっとも、各種兵器の開発・配備状況は、各国が置かれた安全保障環境や戦略、運用構想に影響を受けているため、技術開発や配備状況の相対的な遅れがある国との関係における戦略的優劣に直結するわけではない。
O (機会)	AI はその技術単体では有用性は低く、他の技術領域との組み合わせの中で活用が進められる。その領域の一例として、ビッグデータ、量子技術、クラウド技術、エッジ・コンピューター、生物科学、ロボット技術、高度素材技術などがあげられる。	精密誘導が可能な通常型極超音速兵器が実用化されれば、通常戦における優位を生み出すのに有効であろう。
T (脅威)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 諸外国で進むAIと他の技術領域の組み合わせ 2. 無自覚のまま進む中国との共同開発 	中国とロシアが極超音速兵器を既に配備
提言	AI・ML の研究においては、社会実装に近い領域で研究が進むため、特定の課題解決を中心に研究が進展する。特に企業研究者などは、研究成果を特許という形で出さない可能性があるため、実態の把握は、彼らが外部に向けて発出した成果（国際的な展示会を含む）を中心に分析する方法以外にない。研究実体の把握の中で、誰がどのように研究開発に従事しており、それら研究者の動向を把握することは、AI・ML 研究の最前線を知ることになる。彼らの国際的ネットワークを知ること、非物理移転が中心となる AI・ML 技術の海外移転の動向を知る機会になる。	既に米国が実施しているように、宇宙配備型のセンサー能力の向上は不可欠である。小型衛星によってコンステレーション化されたセンサーは、HGV だけでなく通常の弾道ミサイルを探知・追尾する際にも必要になる。したがって、先進的な極超音速兵器を有する中国だけでなく、北朝鮮にも対処しなければならない日本にとって、宇宙配備センサーの発展に資する日米協力は必須であろう。

調査分野	医療・公衆衛生技術	高度情報通信・ネットワーク技術
S (強み)	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。	<ul style="list-style-type: none"> ・ NEC・OCC・住友電気工業が、通信領域を最大4倍にする新たな海底ケーブルを開発したことを発表するなどして、国際的な競争力を示している。 ・ 光ファイバーの製造技術は日本企業が強みとしてきた分野であり、現在でも国際的なマーケットシェアでは米中の企業と並んで、トップ10に日本企業が3社ランクインしている。
W (弱み)	世界各国では五十万人から百万人単位の大規模ゲノム解析プロジェクトが運用されていることから、日本国内でも同程度の規模のゲノムコホート研究体制を構築することが重要	日本は他国と比較すると基地局の整備が課題
O (機会)	膨大なデータを扱うゲノム医療では、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。	2021年1月には、5G通信網整備に向けて、日本と米国、イギリス政府が、調達先を多様化するため、日本製の機器や技術の普及に向けて連携を強化する方針を明らかにしている。
T (脅威)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 大規模ゲノム解析プロジェクトの体制未整備 2. 社会制度、倫理教育の未整備 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 5G基地局整備の遅れ 2. 量子暗号通信の開発競争
提言	ゲノム医療の推進にあたっては、倫理的・法的な課題の整理と社会の理解が不可欠である。誰もがゲノム情報にアクセスでき、ゲノム医療を受けられるような機会平等やゲノム治療の到達性の向上に向けてより丁寧で具体的な説明が必要になるほか、社会受容性の問題に留意する必要がある。	高度情報通信技術をめぐる戦略を検討するには、まず、5Gに関する活用事例の収集と分析を進めることである。日本における5G普及率が思うように上がらない理由の一つとして、5Gを利用するために現在必要な端末が高価であることと、それに比してメリットが感じられないことが挙げられる。

調査分野	先進コンピューティング技術
S (強み)	<p>1990 年以降日本ではスパコン開発が一大産業となり、2000 年以降はスーパーコンピューター「京」のように世界トップレベルの計算速度と性能を兼ね備えたスパコンを生み出してきた。最近では、新型のスーパーコンピューター「富岳」が 8 年半ぶりに世界一を奪還し、中国の「神威・太湖之光」や米国の「サミット」を遥かに凌ぐ計算速度を達成した。こうした技術革新には、NEC や富士通、日立といった日本の民間製造業の貢献が大きい。</p>
W (弱み)	<p>官民学の連携は強調される一方で、政策が省庁の縦割り行政の中で完結してしまい、より政策や社会にニーズに沿った形での技術開発をする体制が構築されていない。</p>
O (機会)	<p>先進コンピューティング、とりわけエクサスケール・コンピューティングは、エネルギー技術、材料科学、3D 造形を含むアディティブ・マニュファクチュアリング、AI、医療等を含む新興技術分野での応用が期待されており、経済・軍事等を含む安全保障への多角的な波及効果を持つ技術領域である。日本も富岳に代表される高い先進コンピューティング技術を備えており、それは経済安全保障戦略の立案に際しても他国との有意な差を生み出すひとつの梃子となりうる。</p>
T (脅威)	<p>政策や社会ニーズに沿った研究開発体制の未整備</p>
提言	<p>先進コンピューティング分野は基礎研究レベルでは日本が米中に伍することのできる分野となっているものの、このような応用面における競争力の差を解消する必要がある。研究開発への一般的・抽象的な応用を目的とするにとどまらず、より具体的なアプリケーションを想定した基礎研究の強化とともに、それを実現するための分野横断的、省庁横断的な研究開発体制、そして応用の枠組みを構築していくことが求められる。他の新興技術開発への大きな波及効果も期待されるため、経済安全保障のための新興技術戦略全体における他国との差異（優位性）を作り出すための梃子となりうる技術として、今後さらなる調査の対象とすることを検討すべきである。</p>