

第7号様式（調査研究事業）

外交・安全保障調査研究事業費補助金

補助事業実績報告書

1. 基本情報	
事業者名 公益財団法人 未来工学研究所	
事業分野	※募集要領にある分野 A～C のいずれかを記入のこと。 我が国の経済安全保障・国家安全保障の未来を左右する新興技術
事業名及び事業概要	※事業計画書の該当部分を転載のこと。 本事業では安全保障を支える新興技術のうち、将来の数十年間に社会に普及し自宅でも容易に技術を利用・活用することが予測ないし期待される技術として「合成生物学」「ニューロテクノロジー」を対象に、①特性を整理し、②米欧中日の技術動向を整理し、③将来の科学技術力を展望した上で我が国の経済安全保障／国家安全保障への影響を分析し、④我が国の取るべき安全保障戦略に対し政策提言を行う。
事業実施期間	※下記の期間から1つを選択し「○」を記入 () 1年間（令和 年度） () 2年間（令和 年度～令和 年度）（うち 年目） (○) 3年間（令和 2 年度～令和 4 年度）（うち 1 年目）
2 事業実施体制	
(1) 定量的概要 研究者数合計 11 名 うち若手(※)研究者数 5名（全体の 45.5 %） (※) 若手の定義については、各事業者の分類による（別紙1参照）。 うち女性研究者数 2 名（全体の 18.2 %） うち首都圏以外の研究者数 4 名（全体の 36.4 %） (2) 事業実施体制の詳細は別紙1に記入のこと。	

3 事業の実施状況・成果

(1) 定量的概要

(総合事業、調査研究事業については該当するもののみ記入すること。)

【調査】

- ・ 情報収集・調査実施回数： 1 回

【会議】

- ・ 研究会の実施数： 5 回
- ・ 他団体主催のシンポジウム／セミナー／ワークショップ等への参加数：1 回

【情報発信】

- ・ インタビューや報道発表の実施数： 1 回
- ・ 政策提言を含む報告書の発出数： 1 回

※ 主要なものにつき、審査委員や政府関係者などが閲覧できるよう URL（未発表のものは概要）を記載。 また、上記以外の情報発信（メールマガジン配信、ウェビナー動画の発信など、独自に実施している情報発信）も記載可。

(2) 事業の具体的な実施状況は別紙 2 に記載のこと。

(3) 別紙 3 において、事業の定性的成果（①どのように取り組み、どのような成果があったか（工夫を凝らした点、従来事業から改善した点を含む）、②どの部分につき進展・成果が不十分であったか、その原因、次年度での改善方法）を具体的に記載のこと。

4 事業総括者による評価（2 ページ程度）

※事業総括者による事業の進展、成果についての評価コメントを記載。（特に、他の類似事業と比べてどのような新規性があったか、研究成果によりどのような新たな知見が得られたのか否か、これら

がどう日本外交に資するのかを記載する。)

以下、基礎的情報収集・調査研究の観点から、本事業の進展と成果に関する自己評価について述べる。

(1)補助事業者の情報収集・調査分析能力がどのように強化されたか。

初年度の調査では、合成生物学とニューロテクノロジーの2つの新興技術を対象として、これらの分野の研究が進んでいる、米国、欧州及び中国における民利用を中心とした R&D の現状や事例を中心に俯瞰的な調査を実施した。このような新興技術はまだ発展途上の段階であり、国内ではこれまで、これらの技術に関して大きな関心が寄せられず、非専門家でも理解することが可能な包括的な調査・分析が実施された例は殆ど無かった。また、これらの新興技術の R&D は加速度的に進展しており、特に、米国や中国ではこれらの新興技術の軍事利用に関する R&D に大きな投資を行っていることから、これら R&D の全体像を把握することが容易ではないという問題があった。このような状況を踏まえ、初年度の俯瞰的な調査を行うにあたり、これらの技術の民利用に関する R&D に焦点を置いて、これらの分野に詳しい、以下に示した国内外で活躍されている多様なトップの研究者・専門家を招き、外務省および関係省庁の方を交えて、「勉強会」という形式で、国内外の先進的な R&D 活動や事例について重要な情報を収集・理解し、文献調査やヒアリングを行うことで、必要な情報を収集・補完することができた。

<表「勉強会」講師等として参加頂いた研究者・専門家>

氏名	所属機関・職名	ご専門、経歴、講演内容等
相澤 康則	東京工業大学准教授	日本におけるトップの合成生物学研究者。欧米中に対する日本の研究の遅れに危機感を感じて、国内で合成生物学に関するベンチャーを立ち上げた。勉強会では、合成生物学研究の全体像と合成生物学の未来、生物兵器としての脅威等について講演頂いた。
Eriko Takanono	マンチェスター大学教授	英国におけるトップの合成生物学研究者。欧州委員会の科学委員会の合成生物学に関するワーキンググループの外部専門家として招聘。英国における合成生物研究の状況、先進的な研究の事例、日本の現状等について講演頂いた。
吉国 靖雄	米国エネルギー省ジョイントゲノム研究所 DNA 合成科学プログラム部門長	米国におけるトップの合成生物学研究者。エネルギー省傘下のローレンス・バークレイ国立研究所における第一級の科学者。米国連邦機関、国立研究所、産業界等における合成生物学研究の状況、先進的研究事例、研究成果等について講演頂いた。
茨木 拓也	株式会社 NTT データ経営研究所 ニューロイノベーションユニット アソシエイトパートナー	日本における数少ないニューロテクノロジーの専門家。「ニューロテクノロジー」(技術評論社)を出版。ニューロテクノロジーの全体像、技術の応用、ビジネス面でのインパクト等、ニューロテクノロジーの技術的及びビジネス的な視点で講演頂いた。

長谷川 良平	産業技術総合研究所人間情報インタラクション研究部門上級主任研究員（理学博士）	日本を代表するブレイン・マシン・インターフェース（BMI）研究者。日本における BMI 研究の先駆者として有名。ニューロテクノロジーの定義、BMI の医療面での応用、倫理面での課題等、BMI の研究の状況について講演頂いた。
川人 光男	国際電気通信基礎技術研究所（ATR）脳情報通信総合研究所所長、脳情報解析研究所所長	（有識者ヒアリングとして実施） 日本の先進的なニューロテクノロジー研究を牽引してきた、日本を代表する脳科学・ニューロテクノロジー研究者。脳情報解析の専門家。ニューロテクノロジーの現状、ニューロテクノロジーの今後、世界の研究開発動向、先進的な応用事例、日本のニューロテクノロジー研究の課題等、ニューロテクノロジーに関する研究者および専門家の意見として伺いました。

なお、中国に関しては、中国を席卷した新型コロナウイルスの影響により、中国の専門家へのアクセスを断念せざるを得なかったが、中国で公開・入手可能な文献・資料（主に中国語での情報）を収集することができたため、中国における合成生物学とニューロテクノロジー研究の計画やプログラム等に関する情報を幅広く収集し、調査することができた。

未来工学研究所は、本年度の調査から、日本の合成生物学およびニューロテクノロジーに関する研究は、民利用という観点でも、欧米や中国と比較して危険なほど大きく立ち遅れていること、また、「バイオ戦略 2020」のような国の産業・科学技術戦略の内容から見ても、国として新興技術が及ぼす社会や国家へのインパクト（正と負の両面）について、ガラパゴス的な視点ではなく、国際的な視点で包括的に予測・分析し、国益としての国家戦略を考えていく手法を持ち合わせていないことを、大きくクローズアップすることができたのではないかと考えている。このため、今回の 3 年間にわたる調査研究から生み出される成果が、将来にわたる新興技術のインパクトを予測・分析し、それを踏まえて、日本として取るべき科学技術外交政策を体系的に検討するためのアプローチを生み出すきっかけになるようにしたい。

(2)情報収集・調査分析の成果のHP上での公表等、しかるべき発信が実施できたか。

今回の調査研究の成果のサマリーは当所のウェブサイトにて公表・発信する予定である。また、今回の調査研究の成果は、事業総括者ならびに研究に携わったメンバーが所属あるいは主催する学会や研究会で発表する予定である。

4-1 事業総括者による評価（非公開部分、2 ページ程度）

※一般への公開を避けたい部分については以下に記載のこと。

特になし。

第7号様式 別紙1 事業実施体制の詳細

2. 事業実施体制 ※事業を実施するための人的体制、それぞれの役割分担を記載。それぞれの経験、能力等を示す資料を別添すること。複数の研究グループを設ける場合はその旨も分かりやすく記載。			
事業総括、グループリーダー、研究担当、渉外担当、経理担当等の別	氏名	所属機関・部局・職	役割分担
調査研究班（調査研究の実施、報告書執筆）			
事業総合アドバイザー	相澤 康則	東京工業大学生命理工学院准教授	事業全体の方向性に関する専門的アドバイス・知見の提供
事業総括・研究担当	多田 浩之	未来工学研究所政策調査分析センター主席研究員	事業の調査研究面での総括、米国、日本の動向把握とリスク分析
副事業総括・研究担当	伊藤 和歌子	未来工学研究所政策調査分析センター主任研究員	事業全体の進捗管理、メンバーや外務省との調整、中国の動向把握
事業総括補佐・研究担当	山本 智史	未来工学研究所政策調査分析センター研究員	事業全体の進捗管理の補佐、欧州の米国技術の効果・リスク、及び欧州の動向把握
総務・経理担当	国井 京子	未来工学研究所総務課長	本事業の総務・経理
外部研究協力者（勉強会・ヒアリングでの知見の提供）			
勉強会講師、ヒア	高野 恵理子	マンチェスター大学教	イギリスの合成生

リング対象者		授	物学に関する知見の提供
勉強会講師、ヒアリング対象者	吉国 靖雄 (40 代)	米国エネルギー省ジョイントゲノム研究所 DNA 合成科学プログラム 部門長	米国の合成生物学に関する知見の影響
勉強会講師、ヒアリング対象者	長谷川 良平	産業技術総合研究所 人間情報研究部門 ニューロテクノロジー研究グループ 研究グループ長	ニューロテクノロジーにおけるブレイン・マシン・インタフェースに関する知見の提供
勉強会講師、ヒアリング対象者	茨木 拓也	株式会社 NTT データ 経営研究所 ニューロイノベーションユニット アソシエイトパートナー	ニューロテクノロジー全般に関する知見の提供
勉強会講師、ヒアリング対象者	佐々木 浩	ハーバード大学ウィー ス研究所博士研究員	分子生物物理学、生化学に関する知見の提供
勉強会講師、ヒアリング対象者	川人 光男	株式会社 国際電気通信基礎技術研究所脳情報通信総合研究所所長 / 脳情報研究所所長	ニューロテクノロジーに関する知見の提供
ヒアリング対象者 (海外)	Philip Shapira	Professor of Innovation, Management and Policy, and Director, Manchester Institute of Innovation Research, Alliance Manchester Business School, University	合成生物学に係る RRI に関する知見の提供

		of Manchester	
--	--	---------------	--

第7号様式 別紙2（自由書式）

1. 基礎的情報収集・調査研究

(1) 「調査研究班」定例ミーティングの実施

本事業を円滑に進行させるため、「調査研究班」メンバーによる月1回程度のミーティングを開催し、それぞれの調査研究の進捗状況の共有を図った。その実施状況は以下の通り。

回数	項目	内容
第1回	日時、開催形式	2020年4月9日（木）15:00~16:30（オンライン）
	概要	多田主査から本事業の概要について、「合成生物学とニューロテクノロジーが外交安保・経済安全保障に影響をどのように及ぼすか」というテーマについて、文献のみならず勉強会の形で生の声を聴くこと、1年目は全体像を把握し、重点を浮かび上がらせる作業を進めていくことが確認された。
第2回	日時、開催形式	2020年4月22日（水）13:30~14:30（オンライン）
	概要	本事業アドバイザーの相澤康則東京工業大学生命理工学院准教授を招き、世界における合成生物学の研究開発動向と日本の立ち位置、合成生物学をめぐる法的・政策的論点、今後の展望についての知見を得るとともに、ヒアリング・勉強会講師候補者の検討を行った。
第3回	日時、開催形式	2020年5月19日（火）13:30~14:30（オンライン）
	概要	多田主査より、合成生物学の定義（生物学、化学、工学から見た合成生物学の捉え方）、発展の歴史、医療／獣医学・パーソナルケア製品・農業・環境分野等における応用事例、サイエントメトリクス（科学計量学）分析を通じた合成生物学の俯瞰から得られる知見、についてのレクチャーがあった。
第4回	日時、開催形式	2020年8月31日（月）13:30~14:30（オンライン）
	概要	多田主査より米欧中における合成生物学の政策動向や法規制の特徴について概観がなされた後、伊藤メンバーより中国のバイオ産業動向について紹介があった。また、合成生物学については論点の洗い出し、ニューロテクノロジーについては全体像の把握を分担して進めていくことがメンバー間で合意された。
第5回	日時、開催形式	2020年9月17日（木）14:30~16:00（オンライン）

	概要	多田主査より今年度末に作成予定の中間報告書の位置づけにつき提案がなされた後、以下に示す章立てと担当者について議論がなされた。最終報告書の作成は、提示された章立てを幹として、分析部分を肉付けしていく形で進めていくことが合意された。
第 6 回	日時、開催形式	2020 年 10 月 29 日（木）17:30～19:00（オンライン）
	概要	多田主査より前回提示された中間報告書の章立て案が提示された後、合成生物学に関する法規制及びリスクに関する欧米中の動向と資料に関する情報共有がなされた。また、章立て「合成生物学における日本の現状と課題」をアドバイザーの相澤准教授に依頼することで合意した。 続いて、山本メンバーより、合成生物学と RRI の現状を整理したレジュメが提示された。
第 7 回	日時、開催形式	2020 年 11 月 30 日（月）13:30～15:15（オンライン）
	概要	多田主査より今年度末に提出する報告書章立ての最新版が提示され、出席者間で議論を行った。合成生物学部分を多田主査が、ニューロテクノロジー部分を山本メンバー、伊藤メンバーが執筆分担することで合意された。また、ニューロテクノロジーについては別途有識者にヒアリングすること、「ニューロテクノロジーにおける日本の現状と課題」部分については、勉強会講師の茨木拓也氏に依頼することで合意した。
第 8 回	日時、開催形式	2020 年 12 月 28 日（月）13:00～15:00（オンライン）
	概要	伊藤メンバーより、報告書のニューロテクノロジー部分の構成と執筆分担案が提示され、出席者間で調整を行った。続いて、山本メンバーより、米国国立衛生研究所（NIH）の実施する Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies®（BRAIN イニチアチブ）の概要についての紹介がなされ、伊藤メンバーからは中国におけるニューロテクノロジー政策動向について、第 14 次 5 年計画を中心に紹介があった。
第 9 回	日時、開催形式	2021 年 1 月 28 日（木）13:30～15:00（オンライン）
	概要	多田主査より報告書の担当執筆箇所（合成生物学部分）のドラフト

		が提示され、その内容について出席者間で検討を行った。また、伊藤、山本両メンバーより、執筆担当部分の進捗状況が報告された。
第 10 回	日時、開催形式	2021 年 3 月 5 日（金）13:30－15:00（オンライン）
	概要	報告書の担当執筆箇所について、それぞれから進捗状況が報告され、その内容に基づき出席者間で議論を行った。
第 11 回	日時、開催形式	2021 年 3 月 26 日（金）15:30－16:30（オンライン）
	概要	報告書のドラフト原稿につき、出席者間で内容を確認し、加筆修正点について確認した。

（2） 政策立案者向け勉強会の実施

本事業では「合成生物学」「ニューロテクノロジー」を扱うが、AI やロボットと比して比較的なじみのない分野であることから、政策立案者向けの勉強会の開催を通じ、両分野の知見をすべく、両分野の専門家を招き、計 5 回の勉強会を行った。外務省のみならず、関心のあると思われる省庁（防衛省、経済産業省、環境省、農林水産省）にも幅広く声をかけた。その概要は以下のとおりである。なお、詳細については、（3）に示すヒアリング記録とともに別添資料「外交・安全保障調査研究事業費補助金（調査研究事業）『我が国の経済安全保障・国家安全保障の未来を左右する新興技術』『安全保障に影響を与える新興技術～合成生物学／ニューロテクノロジー～』勉強会議事録及びヒアリング記録」としてとりまとめており、外務省及び関係省庁に配布予定である。

回数	項目	内容
第 1 回	日時、開催形式	令和 2 年 7 月 1 日（水）13：00－15：00（オンライン）
	テーマ	合成生物学の可能性とリスク－経済・国家安全保障の観点から
	報告者	相澤康則 東京工業大学生命理工学院准教授
	参加者	調査研究班メンバー 3 名、外務省から 23 名
	概要	合成生物学は Synthetic Biology といい、英語で Syn Bio と略したりすることもある。同分野の経済と安全保障は同時に考える必要がある。会社や大学だけに任せ、経済を発展させるためだけに技術開発を行うと、国がコントロールできなくなる可能性がある

		る。大量破壊兵器と比べても、合成生物学は脅威のレベルが全く異なる。ポータブルであって、ステルス状態で様々な研究開発ができ、大きな装置が必要ない。 • 合成生物学は今、ゲノムテクノロジーの革命によって駆動している。これは DNA シークエンサーを使って行う解読、ゲノム編集、構築（ゲノムを合成する、丸ごと作る）という 3 段階で説明できる。ゲノムを読むというテクノロジーは、技術的に成熟期に達しているが、ゲノム編集は現在ブームの最中にある。CRISPR/Cas9 というゲノム編集技術では、生きている細胞の中で好きなゲノム配列だけを選択的に切断し、編集することができる。 • ゲノム編集とゲノム構築の違いを建築で例えると、編集が家の一部を改変する「リフォーム」である一方、ゲノム構築は、更地にして完全に違う建物を造るようなものである。中国、韓国、英国の研究者が大腸ゲノムのゼロからの合成に成功しており、ゲノム構築の流れは加速している。この技術が進むと、細胞のプログラム化、生物個体のオーダーメイド化、DNA ストレージ（DNA へのデータ保存）という応用可能性が考えられる。 • 2009 年に OECD がバイオエコノミーのインパクトに言及、2012 年に EU と米国がバイオエコノミーに関する白書を出し、日本でも 2019 年に内閣府からバイオ戦略が出され、欧米中がバイオテクノロジーを用いて目的の物質を生産する微生物を作ること注力していると指摘されている。 • 大量破壊兵器には生物兵器、化学兵器、核兵器、放射能兵器があるが、このうち生物兵器は、生産施設が小さくても簡単にできてしまう手軽さがある。また、隠し持つことが可能であり、物質としての管理のみならず情報としても管理する必要がある。
第 2 回	日時、開催形式	令和 2 年 8 月 25 日（火）16：30－18：30（オンライン）
	テーマ	英国における合成生物学研究の先進的な取り組み
	報告者	高野 恵理子 マンチェスター大学教授

	参加者	調査研究班メンバー3名、外務省、経済産業省、農林水産省、環境省等から33名
	概要	- 合成生物学は Industrial Biotechnology 2.0 であり、次の世代を背負う産業革命ではないかと考えている。 - 合成生物学の台頭には DNA を安価に、簡単に読むことができるようになったことが関係している。また、マサチューセッツ工科大学主催の iGEM (International Genetically Engineered Machine competition) のコンペティションの開催も要因として挙げられる。 - 英国では、遺伝子組換え作物 (Genetically Modified Organism : GMO) をめぐり社会とメディアによる批判を受けた経験から、責任のある研究とイノベーション (Responsible Research and Innovation : RRI) 、即ち新しい技術を用いることを一般の人々に分かるように説明すること、を大変重視している。米国や中国は RRI の問題を英国程は真剣に考えていない。 - 合成生物学は分子生物学の基本を使っているが、異なるのは規模である。他分野のディシプリンを用いて、迅速かつ大規模に行おうとするものである。 - 英国は米国同様早くから合成生物学に注目してきた。最も影響力のあったのは、2012 年の『Synthetic Biology roadmap』である。同ロードマップは政府による合成生物学に対する資金提供や支援の道筋が示され、政府は実際にこのロードマップに基づきファンディングを行った。2016 年にはその第 2 弾として『BIODES IGN FOR THE BIOECONOMY』という戦略計画が打ち出され、商業化戦略が示された。 - 投資の効果もあり、合成生物学に関するスタートアップ (ベンチャー企業) が増え始めたが、その数は米国に比べて非常に少ない。その背景には、大学で取得した特許がほぼ全て大学に帰属するため、会社を立ち上げて特許を保有することができない、という制度的要因が考えられる。 - マンチェスター大学の我々の研究チームは、新規の化合物生成に

		必要な異なる酵素をつなぐ作業を、ロボットに行わせ、様々な種類の酵素を混ぜ合わせ、多様な化学酵素をつくることに取り組もうとしている。 日本の合成生物学はかなり遅れているが、私個人は、合成生物学は日本人向けの分野であると考えている。今始めればまだ遅くないだろう。
第 3 回	日時、開催形式	令和 2 年 9 月 30 日（水）10：00－12：00（オンライン）
	テーマ	米国における合成生物学研究の最新動向
	報告者	吉国 靖雄 米国エネルギー省ジョイントゲノム研究所 DNA 合成科学プログラム部門長
	参加者	調査研究班メンバー3 名、外務省、経済産業省、農林水産省、環境省、厚生労働省から 35 名
	概要	- 米国において合成生物学研究に最も力を入れているのはエネルギー省（DOE）と国防総省である。 - DOE は、植物が次世代の原油となるなかで、合成生物学をそのコンバージョンテクノロジーとすべき開発を、次世代の持続可能な社会形成のために行う、というスタンスをとっている。 - DOE では Office of Science と Office of Technology Transitions の 2 部門が合成生物学を対象とするファンディングを行う。 - オバマ政権のグリーンニューディール政策の一環で作られた DARPA のエネルギー版のプログラムの機関である ARPA-E（Advanced Research Projects Agency Energy）では、合成生物学に関してディスラプティブなテクノロジーに資金提供し、ハイリスク・ハイリターンなプロジェクトを支援している。例えば ELECTROFUELS というプログラムでは、電気、CO₂、天然ガスを用いたフィードストック（供給原料）の研究開発を行っている。 - 国防総省では合成生物学にファンデーションする機関として、DARPA、陸軍、海軍、空軍の 4 つがある。

		• DARPA に関しては、年間予算 3,500 億円のうち、合成生物学自体は、おそらく年間予算 100 億円程度であると考えられる。 • 最も古いのがリビングファウンドリーと、セーフジーンというプログラムである。リビングファウンドリーは多様なコンストラクトを早く構築しプロダクトを作っていこうというプログラムで、セーフジーンは、遺伝子変換した生物を圃場外に出した際に、それを発見や封じ込める等の技術を研究するものである。 • 海軍では、Environmental Surveillance という、バイオセンサーのようなテクノロジーに関心がある。また陸軍では、バイオマテリアルの製造に関心がある。 • 米国国立科学財団（NSF）も 2006～2016 年に SynBERC というプログラムを実施した。これは合成生物学の技術を底上げすべく、次世代の学生や技術者の育成、産官学の交流創出、オープンイノベーションのハブ創出、を目的に行われ、結果として多くの企業が操業し、様々な技術が生まれた。 • 米国における合成生物学研究のもう一つの大きな柱は産業界である。Synbiobeta と呼ばれるカンファレンスがあり、アカデミアのスタートアップ、大企業、投資家が集まり、新アイデアを共有したり、投資家とのマッチングが行われたりしている。
第 4 回	日時、開催形式	令和 2 年 10 月 27 日（火）13：00－15：00（オンライン）
	テーマ	ニューロテクノロジー～定義、研究の全体像、未来像及び社会に与える便益と負の影響、今後の研究課題～
	報告者	茨木 拓也 株式会社 N T T データ経営研究所 ニューロイノベーションユニット アソシエイトパートナー
	参加者	調査研究班メンバー 3 名と外務省、農林水産省から 9 名
	概要	• ニューロテクノロジーは、脳の情報処理というものを定量的に読み出し、情報処理を行い書き込み、それを仮想化してコンピュータに実装するというのが技術の全体像である。具体的な装置としては、読み取りに関しては脳波計や fMRI、埋め込み型電極等、書

		き込みに関しては同様の埋め込みやニードルを刺すものや、電極を頭皮に貼って電気や磁気を流したりするものがある。また、ニューロフィードバックという対象者に脳活動の情報を与え、望ましい脳波を脳活動として自分で作れるよう支援する技術もある。 • 応用については、読み取りでは臨床応用が進んでいる。例えば交通事故で脊髄損傷した患者の運動機能を代替するために脳波を計測し、機械やロボット、家電を操作するブレイン・マシン・インタフェース（BMI）がある。書き込みでも同じく臨床応用が多く、例えば人工内耳という音を神経の電気信号に変える装置を手術で埋め込むことができる。 • 読み取りと書き込みをつなぐ技術には、ブレイン・ブレイン・インタフェースがある。これはある被験者の手を動かしたいなどの脳波情報を別の人間あるいは動物に送り、動かそうとするものである。中国では人間の脳波から指示を出し、ラットを動かすという実験事例がある。 • ニューロテクノロジー分野でも国際競争が激しくなっている。特に米国民間企業が巨額の投資をしており、例えイーロン・マスク氏はNeuralinkという会社を田仕上げ、豚に電極を埋め込み、豚の脳波をリアルタイムで見せるデモンストレーションを行った。英国では王立協会が、同国の強みを生かしたニューロテクノロジー分野の科学技術政策に力を入れるべきだと主張している。 • ビジネス面では、例えばマーケティング分野では、テレビショッピング番組の視聴者の脳活動を計測し、どの脳活動パターンのときに電話が鳴るのかシミュレーションして番組を制作することで、売上増に貢献した事例がある。 • 防衛分野では、兵器（機械）と脳を結びつけ、スキルや能力を向上ないし移転させるという分野での有効性が注目されている。また、兵士の脳波を計測することで、現状をモニタリングする技術の開発も進められている。 • 倫理上の問題では、例えばBMIを用いてロボットアームを操作中
--	--	--

		に、本人の意図しない動きをする、というアクシデントを回避するために、システムに Veto（拒否権）をつけるべきだと主張が科学コミュニティでなされている。また、説明責任について、上記事例の場合、ユーザー側に過失を帰すべきなのか、誤作動の予見可能性をユーザー側が知るためにもメーカー側が動作精度に関しての情報を提示すべきではないか、が問題になる。 • 今後は脳情報を媒体とする色々な産業が生まれ、2050 年には脳情報媒体が社会インフラとなる世界が到来するだろう。
第 5 回	日時、開催形式	令和 2 年 11 月 26 日（木）16:00－18:00（オンライン）
	テーマ	ニューロテクノロジー研究の最新動向～BMI を中心として
	報告者	長谷川良平 国立研究開発法人産業技術総合研究所 人間情報インタラクション研究部門 上級主任研究員（理学博士）
	参加者	調査研究班メンバー3 名と外務省、防衛省、厚生労働省等から 15 名
	概要	• ニューロサイエンスや脳科学が脳を理解する研究であり、いろいろな学際分野の脳を対象とする研究をしているという緩やかな学問であるのに対して、ニューロテクノロジーは個別の社会課題解決を達成するための橋渡しの研究開発のフィールドではないかと考えている。 • 英国では脳科学者やニューロテクノロジーの研究者、開発者がより多くの資金投入をすべきとの提言がなされ、韓国でも 10 年計画で 1,252 億円を脳科学に費やすと聞いている。中国では自動運転車を脳波で制御する研究が行われている。 • 感覚運動を補填、補償するような技術としてのブレインマシンインターフェース（BMI）が盛んになってきており、脳の中に、剣山のような非常に小さな高密度の電極を多数埋め込んで脳パターンを調べ、対応関係が取れた脳活動を再現することで、頭で考えただけでモノを動かせるようになる。 • このような技術の実用化で競争参入しているがイーロン・マスク氏であり、細い電極を脳に細かく埋め込んでいく手法で失われた脳機能を再現することができるという。

		• マインド・リーディングやマインド・コントロールといった技術が脳科学や心理学の悪用の例としてよく紹介され、倫理的な問題になっており、過剰な期待や恐怖が BMI の悪用を懸念する心理的要因となっている。 • BMI の医療への応用としては ALS 患者に対する取り組みがある。我々の開発した「ニューロコミュニケーター」は、意思伝達機能に重度の障害をもつ人が他者と円滑なコミュニケーションをとれるように、頭皮上の脳波を測定し、脳内意思を解読して意思伝達を行うシステムである。BMI には、感覚・運動・認知という脳の動きそれぞれに対応して、感覚型 BMI、運動型 BMI、認知型 BMI があるが、このうち認知型 BMI 技術を駆使して開発された。マインドスイッチという、ALS 患者が脳活動により直接外部機器を操作できるようにすることを目指している。 • 将来はニューロテクノロジーを用いて高齢者や障害者のプロ「b スポーツ（脳波による脳トレ競技）」プレイヤーが誕生し、社会復帰するようにするのが自身の夢である。
--	--	---

(3) 有識者ヒアリングの実施

上記勉強会とは別に、ニューロテクノロジーへの知見を深めるため、有識者へのヒアリングを行った。その概要は以下のとおりである。

- ① ヒアリング日時：2021 年 1 月 13 日（水）10:30－12:00
- ② ヒアリング対象者：川人光男 国際電気通信基礎技術研究所（ATR）脳情報通信総合研究所 所長、脳情報解析研究所所長
- ③ ヒアリング実施者：多田、伊藤、山本（未来研）
- ④ 概要：

ニューロテクノロジーの定義や応用事例、世界の研究開発動向に関する知見に加え、我が国がニューロテクノロジー分野で世界トップクラスに躍り出するためには、何が課題なのかについて率直な意見を聴くことができ、今後の政策提言作成に有用であった。

合成生物学については、別資金を得て実施した事業での有識者ヒアリングにおいて、佐々木

浩ハーバード大学ヴィース研究所博士研究員より米国における合成生物学の研究開発動向に関する知見が、フィリップ・シャピラ（Philip Shapira）マンチェスター大学教授より、英国における RRI の取組動向についての知見が得られた。

（4） 報告書の作成

上記(1)～(3)の活動、及び事業アドバイザーから知見を得ながら、調査研究班は合成生物学及びニューロテクノロジーの技術的概要、経済安全保障の観点を中心とした応用事例、各国の研究開発動向、について整理し、成果報告書にまとめた。

本報告書の構成は以下のとおりである。

- | | |
|-------|-----------------------------------|
| 1. | はじめに |
| 2. | 令和2年度作業の目的と構成 |
| 3. | 初年度の調査研究の内容と成果 |
| 3.1 | 現時点での合成生物学研究の特徴に関する俯瞰的な理解と整理 |
| 3.1.1 | 合成生物学の定義 |
| 3.1.2 | 合成生物学の成り立ちと合成生物学のアプローチ |
| 3.1.3 | 合成生物学の特徴、期待されるメリット等 |
| 3.1.4 | 米欧中における合成生物学研究の特徴、代表的な事例等 |
| 3.1.5 | 日本の合成生物学研究の取組みの現状と問題点 |
| 3.2 | 現時点でのニューロテクノロジー研究の特徴に関する俯瞰的な理解と整理 |
| 3.2.1 | ニューロテクノロジーの定義 |
| 3.2.2 | ニューロテクノロジーの特徴、期待されるメリット |
| 3.2.3 | 米欧中におけるニューロテクノロジー応用研究の特徴、代表的な事例等 |
| 3.2.4 | 日本のニューロテクノロジー研究の取組みの現状と問題点 |
| 4. | 次年度調査研究の取組み |

本調査研究は現在進行中であり、また新興技術をめぐる機微な情報も扱っているため、その研究概要版を作成し、本研究所のウェブサイトに掲載予定である。

2. 国民の外交・安全保障問題に関する理解増進

(1) インタビューの実施

多田浩之主査が、ニューロテクノロジーの軍事研究事例に関してメディアから取材を受けた。

① 日付：2020年12月28日

② インタビュー実施者：NHK 報道局 社会番組部 ディレクター 高橋裕太

③ 内容（概要）：BMI（ブレイン・マシン・インターフェース）を中心としたニューロテクノロジーに関する軍用研究の事例について取材を受けた。

(2) 公開ワークショップへの参加

伊藤和歌子メンバーが、日本国際問題研究所軍縮・科学技術センター「先端技術と国際関係」研究会の実施する第1回公開ワークショップ「国際関係の視点からテクノロジーを考える」（2021年3月17日(水)15:30-17:00）に研究委員として参加した。