

戦略的創造研究推進事業
(社会技術研究開発)
研究開発実施終了報告書

「人と情報のエコシステム」研究開発領域
「情報技術・分子ロボティクスを対象とした議題共創のため
のリアルタイム・テクノロジーアセスメントの構築」

研究開発期間 平成 29 年 10 月～令和 3 年 3 月

標葉 隆馬
(大阪大学社会技術共創研究センター准教授)

目次

1. プロジェクトの達成目標	3
1-1. プロジェクトの背景	3
1-2. プロジェクトの達成目標	4
2. 研究開発の実施内容	6
2-1. 実施項目およびその全体像	6
2-2. 実施内容	7
3. 研究開発成果	24
3-1. 目標の達成状況	24
3-2. 研究開発成果	26
3-3. 今後の成果の活用・展開に向けた状況	31
4. 領域目標達成への貢献	32
5. 研究開発の実施体制	34
5-1. 研究開発実施体制の構成図	34
5-2. 研究開発実施者	34
5-3. 研究開発の協力者	36
6. 研究開発成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動など	37
6-1. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など	37
6-2. 論文発表	41
6-3. 口頭発表（国際学会発表及び主要な国内学会発表）	42
6-4. 新聞報道・投稿、受賞など	44
6-5. 特許出願	45

1. プロジェクトの達成目標

1-1. プロジェクトの背景

急速な発展を見せる情報技術分野では、同時に様々な倫理的・法的・社会的影響 (Ethical, Legal, and Social Implications: ELSI) の問題が浮上している。このような ELSI の議論は、近年では責任ある研究・イノベーション (Responsible Research & Innovation: RRI) の議論枠組みの下で活発に論じられているが、その盛り上がりは、論点の多様化と深化をもたらすとともに、時として社会の中で議論すべき議題の混乱も招いている。この状況において先端情報技術と社会のあり方をより建設的に議論するためには、「先端情報技術がもたらす ELSI 議題を抽出するテクノロジーアセスメントシステム」ならびに「情報技術の開発に ELSI 議題と社会的要請をフィードバックするための方法論」が必要となる。

そのような要請を鑑み、本プロジェクトでは、情報技術のためのリアルタイム・テクノロジーアセスメント (Real-Time Technology Assessment: RTTA) のシステムを構築することで、「情報技術の開発に社会的要請をフィードバックするための方法論」を開発することを目指した。

この課題に関連する背景として、わが国では先端技術に関するテクノロジーアセスメント (TA) の必要性が、科学技術基本計画などの科学技術政策の重要文書でも繰り返し指摘されてきた。これまでに JST-RISTEX「先進技術の社会影響評価手法の開発と社会への定着」プロジェクト (平成 19~22 年度) においてわが国における TA の制度的選択肢が提案されるなどの成果が生まれている。しかしながら同時に、先端情報技術やそれを活用した様々な先端的な萌芽的科学技術 (分子ロボティクスなど) のもたらす社会への幅広いインパクトを適切に予見・評価することの難しさ、社会の中で形成される議題と立法・行政機関が形成する政策議題という両者の間の乖離の拡大という課題もまた浮き彫りとなった。このことは、その対応が研究開発の現場の今後に直結してくるため、現場へのフィードバックを意識したより良い TA のあり方が求められることを意味する。しかし、そのための新しい TA システムの構築、また社会実装上の課題についての実践的研究が不足している現状がある。

このような問題状況を踏まえ、本プロジェクトでは Guston & Sarewitz (2002) が論じた RTTA のアプローチに注目する。RTTA のアプローチは、メディア言論の動向、過去の事例検討、研究動向マッピングといった情報群から候補となる議題を導き出すとともに、TA の実施を通じて、公衆に対して複数の社会的選択肢の提示を目指すものである。

この RTTA ではメディア分析の活用による議題構築がキーポイントとなる。JST-RISTEX のプロジェクトとしてスタートしたサイエンス・メディア・センター (SMC) の活動では、「専門家」の知見をジャーナリストに伝えることには成功したものの、公共の視点を「専門家」や「ジャーナリスト」の視点に反映すること (何を問題として取り扱うのか) という点まで踏み込むまでには至っていない。

このようなこれまでの知見と経験の限界を超えつつ、具体的な先端事例におけるより良い議論の場と議題構築のあり方を提示・実装することが今まさに必要となっている。すなわ

ち、日進月歩である先端的技术に関する議題の早期発見、抽出された議題に関するボトムアップの議論の場の創出、そして抽出した議題の現場の研究者へのフィードバックの実践を総合的に考慮したシステム構築に挑む必要がある。

このような状況を背景として、本プロジェクトでは「情報技術と人間のなじみのとれた社会」を以下に定義する。

「先端情報技術とその活用に伴い生じる様々な ELSI の探索と評価がリアルタイムに実施される、すなわち、現場の研究者を交えたコミュニケーションとフィードバックのためのプラットフォームが構築されることで、多様なステークホルダーや市民による議題の共創が可視化されている社会」

この社会像の実現のため、メディア分析およびホライズン・スキャニングを活用した議題候補リスト作成システムと、専門家をはじめとするステークホルダーがリアルタイムで参加できる議題共創プラットフォームの構築を行うことで RTTA のあり方を模索する。更に、この RTTA を分子ロボティクスと人工知能という具体的な事例において実施し、ELSI のガイドライン作成のための議論に活かすという具体的な実践を行うことで、現場の研究者へのフィードバックのあり方を検討する。これらのプロセスを通じて、先端情報技術に関する効果的な RTTA システムの構築を目指す。

本プロジェクトは以下の3つのサブプロジェクトから構成される。

- ① メディア分析およびホライズン・スキャニングを活用した、研究開発の早期からの ELSI 議題抽出システムの開発
- ② ELSI 議題を現場の科学者・技術者、ジャーナリスト、政策担当者、市民の間で熟議するためのコミュニケーションプラットフォームの構築
- ③ 分子ロボティクスならびに人工知能を具体的なフィールドとして、社会的議題に関する知見と議論の結果を現場の研究者・技術者にフィードバックする方法論についての実践的研究

1-2. プロジェクトの達成目標

本プロジェクトの基本的な目標は、情報技術を巡るよりよい熟議のための RTTA システムの構築である。そのため、本研究プロジェクトではまず以下のアウトプットを目指す。

- ① メディアの動向分析とホライズン・スキャニングを活用した議題候補リスト提示機能の構築：分子ロボティクスならびに人工知能事例での試行
- ② SMC を活用したステークホルダー参加型の議題共創プラットフォーム (NutShell) の構築：分子ロボティクスと人工知能事例での試行
- ③ 実践による RTTA システムの社会実装上の課題の明確化と TA ノートの公開：プロジェ

クトの成果を速報的な TA ノート (4~6 本程度) として公開すると共に、国内外の RTTA 研究者の協力を得ながら当該 PJ の評価と社会実装に向けた提言をまとめる。

- ④ (追加) 新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) 対応における今後の議論に、NutShell を活用するための準備を行う。
- ⑤ (追加) 脳科学×AI 領域における RTTA の試行と、今後の議論・協力関係の模索を行う。

この RTTA システムに関わる第一のステークホルダーは、先端情報技術の現場に関わる研究者と新規技術の社会導入に伴い生じる ELSI に関心を持つジャーナリスト、行政担当者らである。また議題候補リストを活用して行われるステークホルダー参加型コミュニケーションプラットフォームでの議論は、参加者の相互学習の場となる。

RTTA の成果は、TA ノートとして順次公開し、議論に参加する研究者とジャーナリスト、政策担当者、国会議員、課題解決や対話促進などを行う NPO、一般の人々の参照点として活用が可能となる。

また東京工業大学・小長谷明彦教授らのグループとの共同した形で TA ノート内容の現場研究者へのフィードバックを行う。この活動では、小長谷教授の研究プロジェクトの一環である ELSI ガイドラインの作成と協同して行うことで、現場へのより良い TA 知見のフィードバックの実践的積み重ねと知見獲得を行う。

<目標とするアウトカム>

本研究課題の成果がもたらすアウトカムとしては以下の事柄が期待される。

- TA ノートの公開による分子ロボティクス・人工知能領域の社会的議題の提示
- RTTA システムの実践・実装にともなう課題と対応のための知見とノウハウの蓄積
- ステークホルダー間のコミュニケーション促進
- 現場研究者や政策担当者が参考とする ELSI についてのエビデンスの質向上 (議題リストの活用)
- 政策アジェンダ構築プロセスの透明性向上
- わが国における TA の実施機関・実施者ネットワークの形成と、国外機関との連携

<想定される成果の波及効果>

1. 先端情報技術における議論・論争の相場感を捉えた報道の把握
2. 社会全体における科学的議論の質の向上 (①の報道量増加による波及効果)
3. 議題共創コミュニケーションプラットフォームに関する構築・運営技術
4. TA や ELSI、ホライズン・スキヤニング、責任ある研究・イノベーション (RRI) 等、共創的イノベーションに関する科学技術政策・科学技術社会論分野の学術的発展
5. 情報技術とその活用が前提となる萌芽的分野における ELSI を踏まえた研究開発の進展や法規制の整備
6. わが国における TA やホライズン・スキヤニングの社会実装に向けた関係機関・関係

者ネットワークの持続的発展

7. 政策形成プロセスの透明性向上ならびに政策形成のエビデンスの量・質の向上
8. 研究者の自治の発揮のあり方について一つのモデルを提示

2. 研究開発の実施内容

2-1. 実施項目およびその全体像

本研究プロジェクトでは、メディア分析およびホライズン・スキャニングを活用した議題候補リスト作成システムと、専門家をはじめとするステークホルダーがリアルタイムで参加できる議題共創プラットフォームの構築を一貫して行うことで RTTA のあり方を模索することを目標とした。その全体のイメージは以下の図1のようになる。

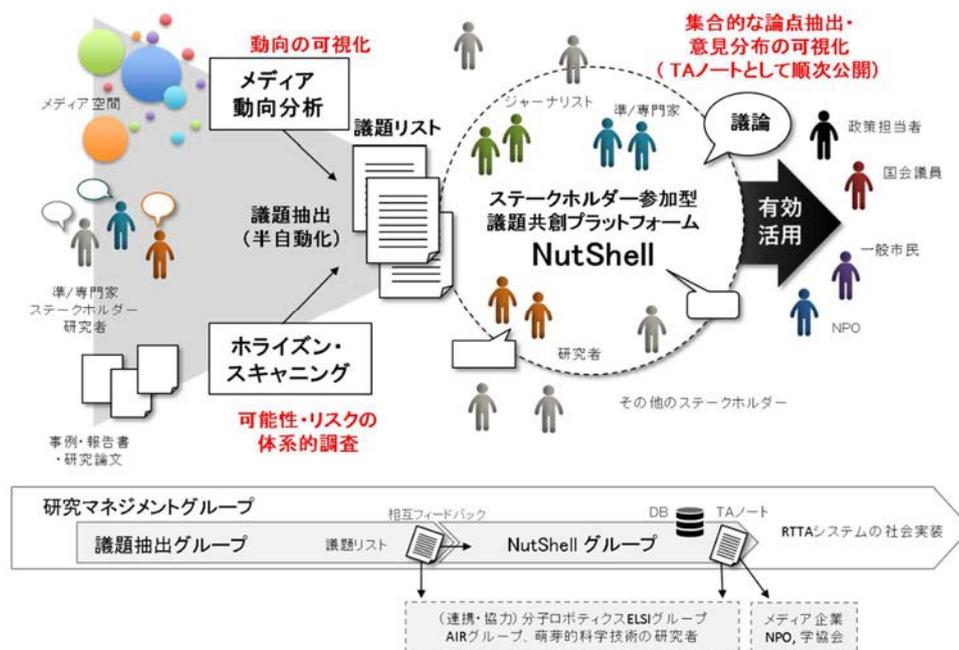


図 1：プロジェクトの全体イメージ

このプロジェクト全体イメージの内実として、以下の実施項目を行った。

- 実施項目①：メディア動向分析
- 実施項目②：ホライズン・スキャニング
- 実施項目③：TA ノートの公開とフィードバック（とりわけ小長谷PJ との共創的連携）
- 実施項目④：ステークホルダー参加型議題共創プラットフォーム構築(NutShell 構築)
- 実施項目⑤：脳科学×AI 領域 (ERATO) における RTTA 試行と連携の模索

表 1：プロジェクトスケジュール

実施項目	平成 29 年度 (H29.10～ H30.3)	平成 30 年度 (H30.4～ H31.3)	平成 31 年度 (H31.4～ R2.3)	令和 2 年度 (R2.4～ R3.3)
①メディア動向分析	議題探索	報告		
②ホライズン・スキニングによる分子ロボティクスに関する ELSI 項目の抽出		実施		
③ELSI ノート (TA ノート) の公開とフィードバック (とりわけ小長谷 PJ との共創的連携)	ノート作成 (分子ロボティクス)	ガイドライン作成協力・ノート作成	ガイドライン作成への協力	
④ステークホルダー参加型議題共創プラットフォーム構築 (NutShell 構築)	アナログ形式小規模実施	設計と構築		運用・評価
⑤脳科学×AI 領域における RTTA 試行				分析・議論

知見の統合
・反映

2-2. 実施内容

テーマ：分子ロボティクス分野を巡る「社会技術的想像」の可視化と議論

実施項目①：メディア動向分析 (分子ロボティクス分野に関わる語られ方の深堀り分析)

①-①目的：

分子ロボティクス分野に関わる語られ方、そしてどのような「社会技術的想像」(Jasanoff & Kim 2009) として受け止められていくのかを探索するため、メディア上での関連語の登場傾向を分析・可視化を行う。

①-②実施内容・方法・活動：

収集した新聞記事、SNS データについて定量テキスト分析を行い、分子ロボティクスに近い語られ方をすると予想された科学技術 (ナノロボティクスなど) のメディアフレーミングを分析し、議題構築への含意を抽出した。

①-③結果：

分子ロボティクス分野において、「分子ロボット」をはじめとする関連キーワードは現在においてメディア露出はほとんどない。そのため、まだ社会そして一般の人々の中では語られていない「分子ロボティクス」分野が将来どのように語られるのかを洞察する手がかりを得るところから本研究はスタートする必要があった。そこで収集した新聞記事、SNS デー

タについて定量テキスト分析を用いた「社会技術的想像」の探索方法の開発を行った。

まず、分子ロボティクス分野関連 Web ページから、使われている言葉のリストを作成した。例えば「分子ロボティクス」という新規な語は、「分子」と「ロボティクス」という既知の語の組み合わせで構成されていることに注目し、それぞれの新奇な専門キーワードから既知の語の組み合わせリストを作成した。次に、FLR 法を用いて、Twitter 上のテキストを対象として分解され得られた語と共起頻度の高い語のスコアリングを行った(図 2・図 3)。

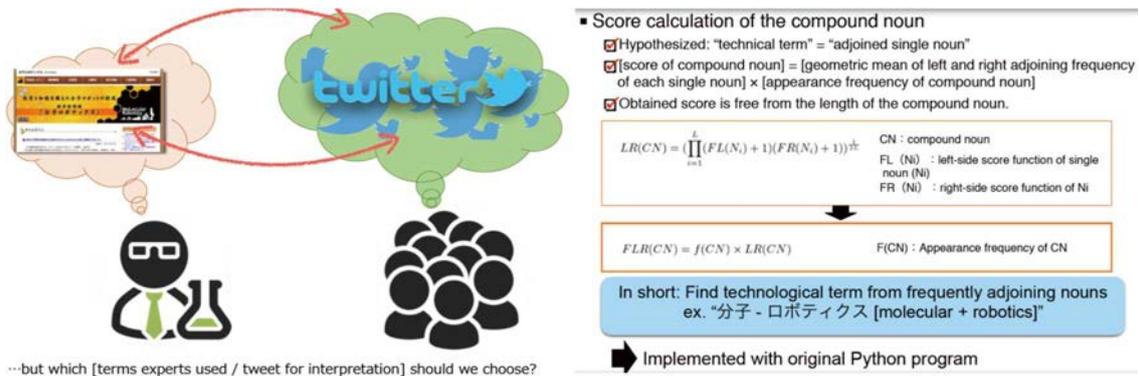


図 3：分子ロボティクス分野を想起させる語の抽出

単語	スコア	単語	スコア	単語	スコア	単語	スコア
分子ロボット	1323.341	分子デバイス群	40.98222	分子目標	19.06783	システム化	13.55824
分子研究	561.0828	人工分子システム	40.819	研究費	18.64921	生物学	13.41641
本鎖	366.2298	蛍光分子	35.34978	合成サービス	17.94419	分子ロボット構築	13.27699
塩基配列	250.5103	研究領域	34.71009	具体的	17.87368	空間的	13.18698
研究者	164.8164	研究班	32.74096	アメーバ型	17.65699	情報科学	12.80434
二本鎖	148.3766	分子感覚	30.63927	感覚班	17.43201	決定論的	12.71896
ロボット工学	142.5082	ロボット研究	30.23229	自律分子ロボット	16.95262	初学者	12.68846
一本鎖	123.3734	研究分野	30.05982	画像分子ロボット	16.48713	科学技術研究	12.49756
分子システム	122.9383	要素技術	29.01505	分子設計	16.19854	設計プログラム	12.48537
分子デバイス	120.9707	分子ロボット実現	27.85819	人工物	15.93713	ナノロボット	12.42951
学術領域	113.5008	分子発展	26.96599	情報処理システム	15.79289	モデル分子ロボット	12.40941
分子反応	102.0778	エネルギー的	26.72738	化学者	15.74392	基礎的	11.91578
分子レベル	100.3787	学術領域研究	26.52604	研究会	15.68205	学術的	11.72507
分子ロボット工学	97.43982	総括班	25.57019	研究内容	15.68205	構造構造	11.61895
型分子ロボット	84.87919	ナノ構造	25.04842	公募研究	15.68205	受託合成サービス	11.54017
消光分子	70.69957	分子構造	24.69303	生体分子	15.50764	画像化学	11.40108
方法論	65.46844	アメーバ班	24.32661	分子学術領域	15.10919	分子応用	11.3378
人工的	61.91623	水素結合	23.5451	塩基間	14.98331	分子情報処理システム	11.32976
計画研究	58.14581	自己組織化	22.94649	分子モーター群	14.93645	領域研究研究領域提案	11.2654
分子型分子ロボット	53.2208	人工合成	22.04541	分子研究会	14.77665	研究人材	11.08889
自律的	47.99707	知能班	21.25988	学術領域研究研究領域	14.76916	ナノテクノロジー	10.98852
構造体	47.23175	反応場	21.07088	配列間	14.5938	研究研究領域提案型	10.86201
化学反応	44.10705	相補配列	20.38853	反応速度論	14.22318	構造予測	10.66968
分子そのもの	43.33048	分子科学	19.817	化学反応系	14.01233	自己集合	10.3923
		反応速度	19.66966	研究組織	13.94354	分子場合	10.24486
						分子関連	10.24486
						知能分子ロボット実現	10.02786

分子ロボット, ナノロボット, 分子モーター, 合成サービス, 構造予測, 分子デバイス, アメーバ型, 分子システム
[Molecular Robot, Nano Robot, Molecular Motor, Synthetic Service, Structure Prediction, Molecular Device, Amoeba Type, Molecular System]

図 2：FLR 法による関連語探索の結果

図 3 が、分子ロボティクス関連用語を分解した語と共起される可能性の高い語の組み合わせスコアの結果である。この結果、「分子」という「小さ粒子」に関連するイメージとし

て「ナノ」、また「ロボティクス」に関連して想起される語として「デバイス」や「システム」といった語が見いだされた。

この結果から、分子ロボティクスの科学的内実によらず、その言葉のイメージから、「ナノテクノロジー」や「ナノロボット」といった言葉が想起するものに近いものとして語られる／受け止められる可能性が高いのではないかと推察した。実際に、この分析を行った当時において、Twitter のテキストデータを探索したところ、「分子ロボティクス」や「分子ロボット」は登場しなかったが、「ナノロボット」などの語は一定数登場することが見いだされた（添付資料_論文4）。

分子ロボティクスがナノテクノロジーあるいはナノロボットに近い語られ方をする可能性が見いだされたことから、分子ロボティクスが将来どのようなイメージ（含、リスクイメージ）で語られうるのかについて、日本国内における日本のナノテクノロジー報道、とりわけリスクを巡るイメージとフレーミングについて内容分析からその実態を明らかとすることを目指すことにした。

ここでは、その結果の一部を示す。図4は、主要5紙（読売新聞、朝日新聞、毎日新聞、日本経済新聞、産経新聞）におけるナノテクノロジー関連報道の報道数推移である。2002 ねんに関連記事のピークがあり、一種の熱狂（Hype）があったことが伺える。またこの後において、記事中での中心的キーワードが、ナノテックの基礎研究の紹介的な内容から、経済・産業面に注目した内容への変化していったことも見出された（例、図5）。このような変化に際しては、記事を執筆するアクターが科学部や医療部といった普段から科学技術関連テーマを取り扱う記者ではなく、経済部や政治部といった普段は科学技術関連テーマを扱わない記者たちが報道に参入してくることで生じる傾向がある（そもそも、そういったアクターの変化がなければ、このような記事数の Hype が生じない）。さらに分析していった結果、この変化は米国 National Nanotechnology Initiative (NNI) に関する報道が一つのトリガーであったことが見いだされてきた。

このことは、分子ロボティクス分野においても、当該技術が仮に基礎研究段階にあったとしても、海外を含めた政策動向いかにによっては国内の報道関心が急速に産業化フレームに変化する可能性があることを示唆するものともいえる。

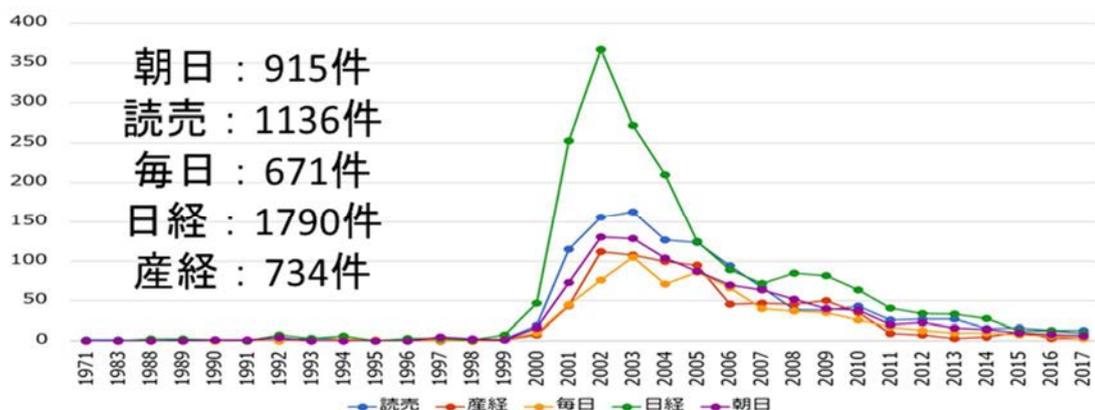


図4：主要5紙におけるナノテクノロジー関連報道数の推移

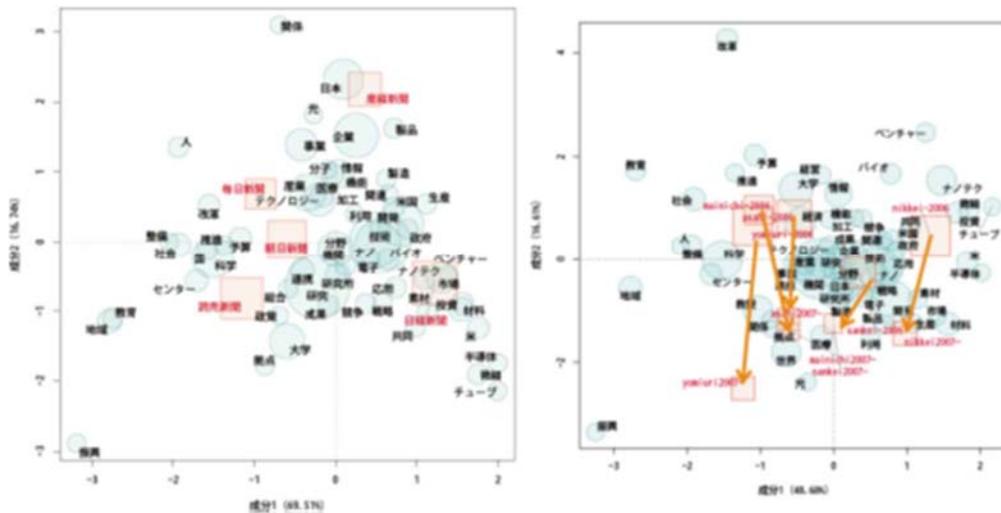


図 5：主要 5 紙におけるナノテクノロジー関連報道頻出語の対応分析

図 4・5 に示したような報道フレームの基本動向を踏まえながら、リスクフレームに絞った分析を行った。日本国内のナノテクノロジー関連報道では、リスクへの言及例自体が全体の報道数に比して少ないことがまず見いだされた。しかしながら、想定的に言及数が少ない中でも、その語られ方の特徴を詳らかにすることは、分子ロボティクスをめぐる将来的に想起されるリスクイメージの理解に貢献できると考えられた。

図 6 は、主要 4 紙（読売新聞、朝日新聞、毎日新聞、日本経済新聞）において、ナノテクノロジーを巡るリスクに言及のあった報道の内容分析の結果の一例である。2000 年代後半におけるカーボンナノチューブのアスベスト様の形状による発がんリスクに関する研究が発表された際になされた報道が、ナノテクノロジーのリスク報道に関する主たるものであった。また遺伝子組換え生物（GMO）との対比での言及例も見出された。また健康・社会リスクへの言及が相対的に多い中、環境リスクへの言及例はほぼ見いだされなかった。しかしながら、実際の記事の書かれ方をみるならば、直接的な言及ではないものの、「公害」を巡る表象やイメージに関わる内容も見出された（Kawamura et al. 2020=論文 3）。

ここで得られたナノテクノロジーリスクのメディアフレームに関する結果は、微小な物質（ロボット）を体内に導入、あるいは環境に散布するという分子ロボティクスの将来的な活用イメージを鑑みた場合、「公害」を想起させるイメージとどのように向き合うのかという問いとして議題を抽出することができる。この点は、後述の実施項目 2 にて記述する、小長谷 PJ が行った市民対話 WS の結果ともつながるものである。

本研究では、ナノテクノロジーのリスクイメージごとの語られ方の特徴についての詳細な分析を行った（例、図 7）。とりわけ自然のナノ粒子に関する言及では「啓蒙」フレーミングとの組み合わせでの言及が多いことが見いだされ、そのうえで、「アスベスト×防護」、「GM 作物×対話」といったフレームの組み合わせ傾向などを見出した（論文準備中）。

このように萌芽的科学技术をめぐるメディアフレーミングの探索方法の模索と、その語られ方の分析をそれぞれ行ってきた。これらの結果を補助線として、ナノテクノロジー、GMO、合成生物学などの事例を参照した ELSI ノートなどを作成するとともに、積極的な知

見の共有を分子ロボティクス研究者と行い、informed な議論を行ってきた。

その上で、前者の萌芽的科学技术をめぐるメディアフレーミングの探索方法についてはトピックモデリングなどの新規手法の活用も模索しており、その一環として2019年9月にLondon School of Economicsのアフメト博士らを招いた国際研究WSを実施するなどし、新しい分析アプローチに関する検討を現在も試みている。

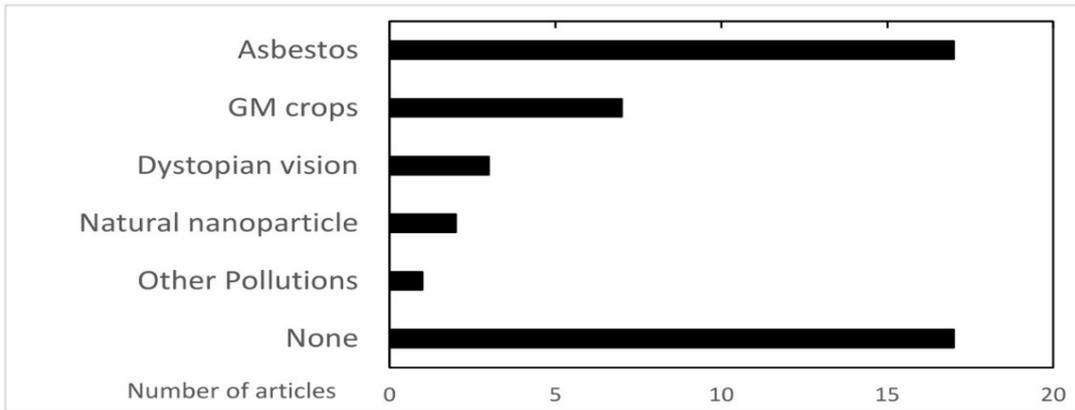


図 6：主要 4 紙におけるナノテクノロジーのリスクに関連する報道で言及されたリスク比較対象（出典: Kawamura et al. 2020 添付資料_論文 3）

	Conversation		Prevention		Enlightenment		Estimate		None	
	p-value	ϕ	p-value	ϕ	p-value	ϕ	p-value	ϕ	p-value	ϕ
Asbestos	0.373	-0.208	0.063	0.329	1.000	0.013	0.344	-0.166	1.000	-0.046
GM crops	0.051	0.362*	0.660	-0.107	0.581	-0.139	0.215	-0.230	0.439	0.121
Dystopian Imaginations	0.274	0.227	1.000	-0.129	0.316	0.198	0.512	-0.181	0.143	0.371†
Natural nanoparticles	1.000	-0.094	1.000	-0.129	0.026*	0.499	0.512	-0.181	1.000	-0.064
Other Pollutions	1.000	-0.065	1.000	-0.090	1.000	-0.072	0.390	0.198	1.000	-0.044
None	1.000	-0.068	0.480	-0.132	0.207	-0.250	0.050	0.342*	1.000	-0.046

* p < 0.05 † ϕ > 0.3

図 7：ナノテクノロジーのリスクフレーミングと語られ方の特徴組み合わせ分析結果（論文準備中）

①ー(4)特記事項：

この研究開発については、本PJの予算上の問題から、人件費不足による研究速度の鈍化リスクがあった。そこで、本PJと関わる形で、新たにRTTAに関する基礎研究のための資金確保を民間助成獲得によって行い、その合算によって必要な開発人材の人件費不足分を賄う形で実施した（セコム科学技術振興財団「ハイブリッド・メディア空間でのリアルタイム・テクノロジーアセスメント技術の開発」代表：田中幹人）。

また本調査の前段階となる企画調査（平成28年度）で得た人工知能関連テキストデータを用いた分析から、人工知能をめぐる国内新聞メディア・ヤフコメ・Twitterでの語られ方の動向の可視化が行われている（吉永ほか2017＝論文2）。

実施テーマ：分子ロボティクスに関する ELSI 項目の抽出・深堀調査・熟議

実施項目②：ホライズン・スキャンニングによる分子ロボティクスに関する ELSI 項目の抽出

②-①目的：

分子ロボティクス分野における潜在的な ELSI を抽出し、関係者間での熟議のための知見共有と土台作り、そして対話実践を行う。

②-②実施内容・方法・活動：

実施項目①の結果や過去事例の共有を行いながら、分子ロボティクス分野の研究者らを中心としたホライズン・スキャンニング、半構造化インタビューを繰り返し行い、分子ロボティクス分野における潜在的な ELSI の分析を行った。また ELSI に関する様々な参考資料を作成すると共に(ELSI ノートや書籍)、小長谷 PJ における分子ロボット倫理綱領¹の試作や、市民対話のコーディネートに協力し、市民対話を通じた分子ロボティクスの社会受容に関わる論点抽出を支援した。

②-③結果：

実施項目①の結果、またそれに基づいて抽出した過去事例の知見提供と共有を行いながら、分子ロボティクス分野の研究者らに対する半構造化インタビューと ELSI 議題洞察ワークショップを繰り返し行い(図 8)、分子ロボティクス分野における潜在的な ELSI の分析を行った。そして、その結果を、ELSI ノート vol.1 としてとりまとめ(ELSI ノート 1)、知見を共有した上で、潜在的課題の洞察を行うワークショップを行い、論点マップを作製した(図 9, 添付資料 4)。

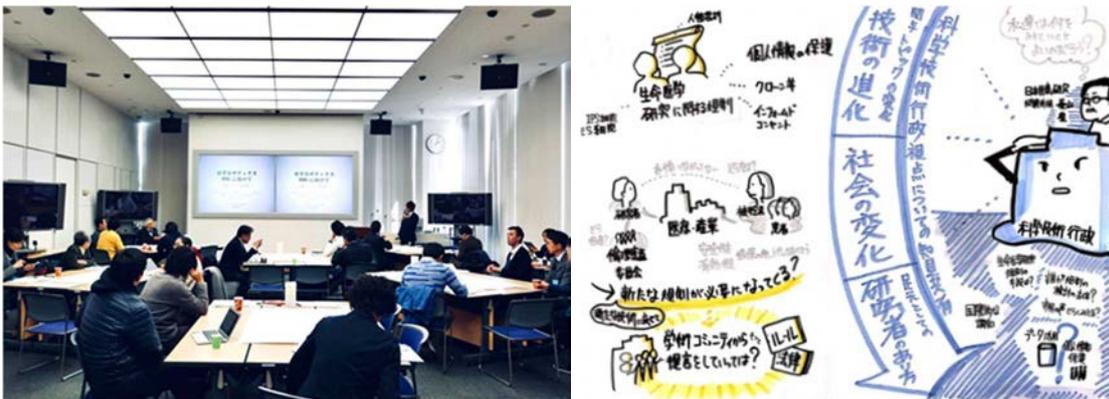


図 8: ELSI 議題洞察ワークショップの様子(左)、論点の可視化例(右)

この ELSI ノートや論点マップ群は、その後の議論ならびに、小長谷 PJ において進めら

¹ <http://molecular-robot-ethics.org/jp/wp-content/uploads/1424033dd58f3a4e6188e4e079ac0b70.pdf> (最終アクセス日 2021 年 1 月 25 日)

れた分子ロボティクス倫理綱領のドラフティングにおける議論の参照点となった（現在そのプロセスを記述した報告論文を分子ロボティクス研究者である東京工業大学・小宮健氏、倫理綱領のドラフティングを主導した九州大学・河原直人氏らとの共著論文として準備中である）。

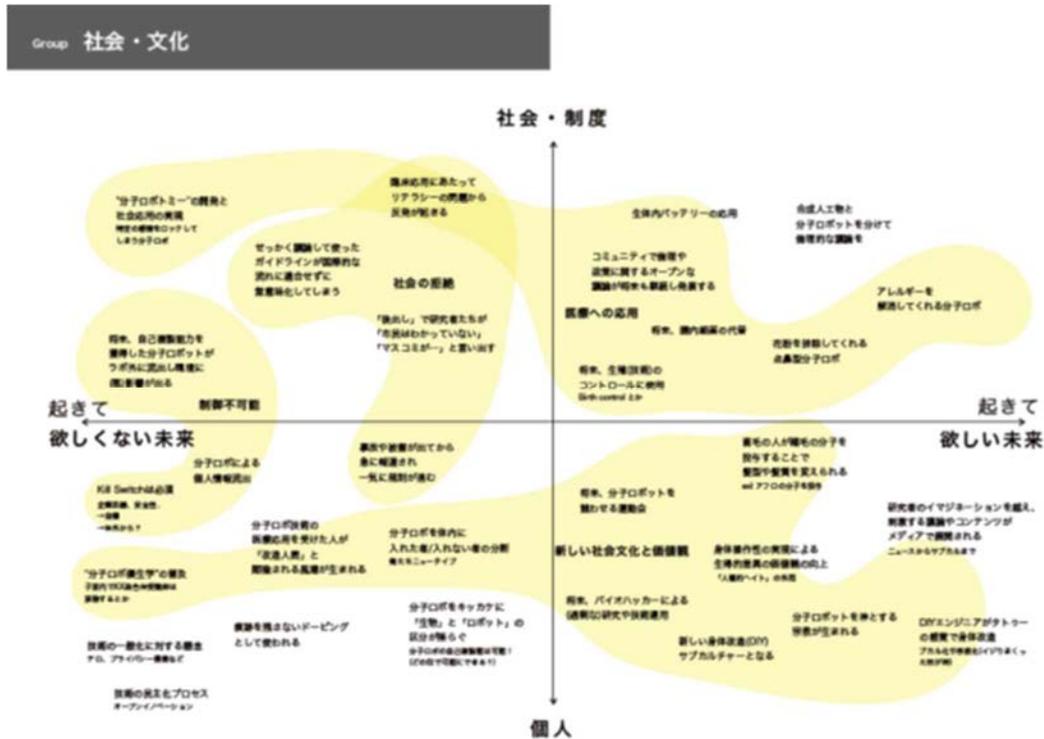


図 9：分子ロボティクスにおける潜在的課題マップの一例

この論点抽出の結果、興味深い知見が得られている。その一例としては、論点抽出の過程で、研究開発の当事者が、分子ロボティクス研究が進んでいくことで、分子ロボットカルタヘナ法の対象になる可能性に気づき、さらには将来的にはカルタヘナ法の対象領域を押し広げていく可能性などもあるのではないかと考察を進めていくなどの議論が展開されている。またそのような議論の持続的な継続をどのように定常化するのかなど、後の「研究者の自治」や自律性に関わる論点もこの時点で登場している。

またこれらのワークショップやインタビューにおける議論の過程において、分子ロボティクス分野における ELSI 議題として、Dual Use の問題の重要性が繰り返し指摘された。このことを受け、Dual Use をめぐる議論の基本を共有するために、生物・化学兵器を巡る国際協定や国内法、また Dual Use 概念そのものの議論経緯に関するレビューを行い、論点整理を行った。この結果を、ELSI ノート vol.2 としてまとめ、分子ロボティクス分野の研究者へのフィードバックを行った（ELSI ノート 2）。この Dual Use をめぐる調査は、メディア報道の分析結果を併せる形で、英語論文としても公表される成果に結びついている（論文 3）

また、科学技術の Dual Use 問題においては、先端的だからこそ不確実性の残ることによる責任の帰属が問題となることがしばしばであった。上記の ELSI ノート 2 で得られつつあ

った知見を更に拡充する形で、Dual Use に関する国内外の議論を網羅的に精査し、そこにおける科学者をめぐる responsibility の広い含意を検討した。そして Dual Use 研究をめぐる科学者の責任論についての倫理的考察を行い、学術論文としてとりまとめた（片岡・河村 in press＝論文1）。

またこの間、小長谷 PJ 主催の国際シンポジウム実施への協力を行い、英国エジンバラ大学 Erika Szymanski 博士、ハーバード大学の Kenneth Oye 教授、EA European Academy の Stephan Lingner 博士らとのネットワーキングを行った。とりわけ、この国際シンポジウムをきっかけとして英国エジンバラ大学のグループとのコミュニケーションがスタートし、現在では共同研究を行う形への発展している。

この分子ロボティクスの ELSI を洞察するための調査において、GMO、合成生物学、ナノテクノロジー、再生医療などの事例の網羅的な再検討を行った。その結果をもとに、分子ロボティクス分野の教科書における ELSI 解説の章への参加（書籍2）、そして萌芽的科学技術に関する ELSI、RRI そして RTTA をめぐる包括的概説書を行い、成果として出版された（書籍1）。

なお、この間の研究過程において、分子ロボティクス分野の研究者間において「何がリスクか」をめぐる「境界設定作業」（Gieryn 1983）と言えるような言説の発露が見いだされた。この特徴的な言説を分析し、分子ロボティクス領域が暗黙に持つ価値観とより重要視されるリスクと ELSI の精緻化、そのような先見的議論に基づくロードマップ作製を目的としたスピノフプロジェクトを開始している（②-④特記事項内説明を併せて参照のこと）。

②-④特記事項；

分子ロボティクス分野の研究者へのインタビュー調査や、シンポジウムやワークショップにおける参与観察の結果、研究者間において「何がリスクか」をめぐる「境界設定作業」（Gieryn 1983）と言えるような言説が観察された。このような言説の背景を理解することは、萌芽的科学技術をめぐる専門家のリスクをめぐる認識と語り方の理解を深めることになり、またその知見は研究開発の現場とのより深い協働のための基礎的知見となることが期待された。

このことから、当該プロジェクトに参加していた若手研究員（河村賢、現在・大阪大学社会技術共創研究センター特任助教）の知見を大きく活用しながら、このような語りによるリスクと ELSI に関わる境界設定の理解を深め、その分子ロボティクス領域のロードマップに活かすような研究を、スピノフプロジェクトとして立てることを行った。この新しい試みは、公益財団法人トヨタ財団 特定課題プログラム『先端技術と共創する新たな人間社会』「分子ロボットロードマップ構想に向けた分野間・国際間共同研究」（代表：標葉隆馬）として採択された（また東京工業大学・小宮健氏の協力参加を得ると共に、エジンバラ大学のグループとのデータ共有・議論を積極的に行うプロジェクトである）。

また、分子ロボティクス分野における一連の ELSI 議題の分析と対話の成果は、JST-RISTEX『科学技術の倫理的・法制的・社会的課題（ELSI）への包括的実践研究開発プログラム』に採択された「萌芽的科学技術をめぐる RRI アセスメントの体系化と実装」（代表：標葉隆馬）、ならびに「分子ロボット技術の社会実装に関する RRI コミュニケーション実践の企画調査」（代表：小宮健）への引き継がれており、更なる発展的展開が進みつつある。

実施項目③：ELSI ノート（TA ノート）の公開とフィードバック

③-①目的：

分子ロボとその隣接領域の ELSI や RRI に関する分析結果をまとめた ELSI ノート（TA ノート）の作成し、熟議のために必要な情報を研究開発コミュニティに共有すると共に、広く公知のものとする。

③-②実施内容・方法・活動：

分子ロボとその隣接領域の ELSI や RRI に関する分析結果をまとめた TA ノートを作成し、関係者に共有する。また、RTTA の知見の現場の研究者へのフィードバックのあり方と知見活用における実装上の課題の明確化とその対応策を検討した。また、得られた結果について東工大・小長谷グループと連携しながら国内外のシンポジウム WS 等で知見共有と国際的アピールの促進を行った。

③-③結果：

実施事項①と②の結果を ELSI ノート（TA ノート）としてまとめ、順次公開ならびに、分子ロボティクスコミュニティへの共有を行った。これらは、更に実施事項②における未来洞察ワークショップやインタビュー調査における情報共有資料として順次活用した。

本プロジェクトに関連して作成し、2020 年度末までに公開準備が整う ELSI ノートは計 10 本となる。うち 5 本は、分子ロボティクスの ELSI 議題に関わる内容であり、残り 5 本は脳科学×AI 領域に関わる内容である。後者の脳科学×AI 領域の ELSI ノートについては、実施事項⑤で詳述することから、ここでは、分子ロボティクスの ELSI 議題に関わる ELSI ノートについて報告する。

分子ロボティクスの ELSI 議題に関わり作成した ELSI ノートの概要は以下のとおりである。

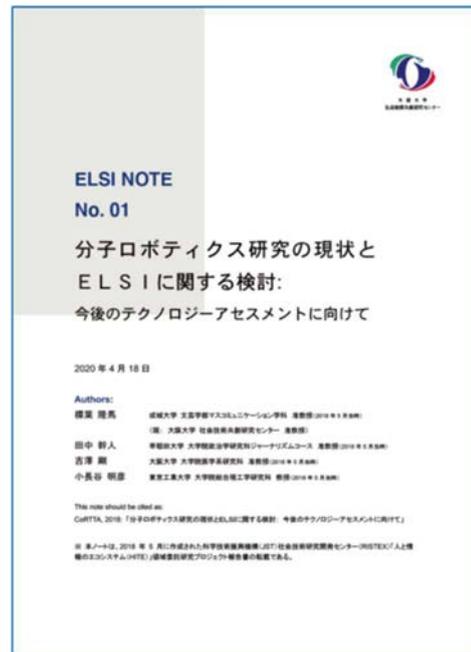


図 10：ELSI ノートの例 (Vol.1 表紙)

Vol.1：ナノテクノロジー、GMO、合成生物学、再生医療の事例から得られる ELSI 知見を概観するとともに、分子ロボティクス研究者も交えて行った ELSI 議題抽出ワークショップから得られた論点を取りまとめた。

Vol.2：Vol. 1 取りまとめる過程において、Dual Use に関する論点が繰り返し指摘されたことから、Dual Use に関する ELSI 論点をまとめる必要が生じた。しかしながら、関係者間で必ずしも Dual Use に関わる基本的事項が共有されているわけではないことが分かり、今後の議論の土台作りが必要となった、そのような背景から、Dual Use をめぐる国内外の基礎的議論をまずは分野一般的な視点からとりまとめた。

Vol.3：分子ロボティクスにおける国際学生コンペである BioMOD の採点基準を更新する議論において、研究倫理（research ethics）や研究公正（research integrity）の視点を導入

することで、ELSI 的視点を自然と身につくような教育・環境の構築ができないかという相談が寄せられた。そのような背景から、研究倫理・研究公正の講義を実際に行っている国内大学教員へのヒアリング調査、国内外における関連指針のレビューを行い、論点整理を行った。そのうえで、採点基準に ELSI 視点をに入れるための素案を作成し、分子ロボティクス研究者のカウンターパートと共有した。

Vol.5 : Dual Use をめぐるリスクにおいて DIY バイオに代表される市民科学的な動向は大きな論点になることから、DIY バイオに関わる議論を中心に、昨今の市民科学をめぐる議論の包括的レビューを行った。

準備中 1 : 分子ロボティクスの隣接分野である合成生物学の論点を参照することの重要性から、米国大統領生命倫理委員会報告 *New Directions: The Ethics of Synthetic Biology and Emerging Technologies* の概要を取りまとめるノートを作成中である。

③-④ : 特記事項

分子ロボとその隣接領域の ELSI や RRI に関する分析結果をまとめた ELSI ノート (TA ノート) などをベースとして、分子ロボティクスコミュニティやその他の科学者コミュニティ、政策担当者、ジャーナリストらに知見を共有するための学会発表、教科書の執筆と発表を行った (標葉 2020=書籍 1; 標葉 2019=書籍 2)。

また分子ロボット倫理綱領の作成過程とそれが持つ「科学者の自治」の含意などについて、小長谷 PJ メンバーと共著の形で英語の原著論文としてとりまとめ、投稿作業を行った (Yoshizawa et al. 2018=論文 4, 論文投稿中)。

また、Dual Use に関わる論点については、若手研究者を中心として ELSI ノート作成を進める中で得られた知見をベースとしてさらに深堀調査を進め、2本の学術論文の形として取りまとめるなどの成果をえている (片岡・河村 in press =論文 1; Kawamura et al. 2020 =論文 3)。

加えて、追加配賦資金により、分子ロボット分野ならびにその隣接領域の倫理的・法的・社会的課題 (Ethical, Legal, and Social Issues: ELSI) ならびに責任ある研究・イノベーション (Responsible Research & Innovation: RRI) の論点分析を進め、その成果を国際ワークショップでヨーロッパの研究者らと共有するなどのネットワーキング活動を行った。この国際 WS の議論が先の投稿論文の執筆背景として活用されている。そして、そのネットワーキングを活用した国際共同研究が現在進行中である。また初年度には、研究協力者である岐阜大学・細野光章教授を、アリゾナ州立大学 (ASU) で David Guston 教授、Ira Bennett 准教授らへのインタビュー調査、ならびに AAAS 年次大会への取材派遣を行った。その結果から、RTTA から RRI につながる論点の抽出、フォーサイトやホライズン・スキャニングをはじめとする方法論の特性や政策オプション形成における留意点や限界について論点整理を行い、以降の実践に活かしてきた (出張報告は添付資料 8)

なお、分子ロボティクスに関する ELSI ノートについては、現在、小長谷 PJ などで行った市民対話で得られた論点をベースに過去事例と結びつける形でのアップデート版の準備を始めたところである。次年度早々に公開することを念頭に、現在執筆をスタートしたところである。この点は、<その他の特記事項、PJ 上の課題と工夫など>も併せて参照のこと。

実施項目④：ステークホルダー参加型議題共創プラットフォーム（NutsShell）の試作版の構築

④-①：目的

ステークホルダー参加型議題共創実践と、その議題共創に関するオンラインプラットフォーム（NutsShell）の試作版の構築を行い、ELSI 議題の熟議実践から、論点の相場観の可視化手法を創出する。

④-②：実施内容・方法・活動：

ステークホルダー参加型議題共創プラットフォームの実践を行うと共に、オンラインでの議論プラットフォーム（NutsShell）のシステムの試作版の構築を行う。この議論プラットフォームの構築実践を、分子ロボティクスの事例などを中心に行い、最終的にオンラインでの熟議や論点可視化の実践を試みた。また、議題リストに対する適切な「編集」プロセスのノウハウ獲得とそのマニュアル化を進めた。

④-③：結果

この結果をベースとして、オンライン型議題共創プラットフォームである NutsShell の試作版の設計と構築を行った。ただし、NutShell の構築においては、2 つの困難があった。第一に、NutShell は完全に新規開発したシステム、いわゆる「フルスクラッチ」であったため、バグ修正、そしてとくにユーザーマニュアル作成に多くの時間が必要となったことである。これは採用時にも「FaceBook など、既存のサービスを利用してはどうか？」との提案を審査委員から頂いた点であったが、既存サービスを利用する限り、その設計外のコミュニケーションを行うことはできない。幸いにも、コンセプトに共感頂いた民間企業の支援を受けて開発は進んだが、年度毎に割ける予算にも限りがあるため、完全にゼロから開発を行うことには、必然的に年単位を必要とした。

しかし、このような問題にみまわれたものの、NutShell のシステム開発においては、本報告を執筆した 2021 年 1 月末時点までに、システムのバグ修正、試験実施のための問題点の洗い出しを行い、試運転可能な段階まで到達することができている（図 11）。プロジェクト関係者と分子ロボティクス関係者を中心としたテストユーザーへの招待を行い、当初計画通りに α 版のテストを行っている。

また、分担者である田中が、COVID-19 対応の専門家委員となったことを奇貨として、「新型コロナウイルス感染症（COVID-19）対応における今後の議論に NutShell を活用する」（アウトプット目標④）を追加し、そのための準備を始めることとした。この議論実践は、β 版を含めた今後の課題ではあるものの、JST-RISTEX・ELSI 領域「萌芽的科学技術をめぐる RRI アセスメントの体系化と実装」プロジェクトにおいても引き続き対応していく。

また、この間に、COVID-19 に関わるマスメディア、ソーシャルメディアのテキストデータの取得なども進んでおり、解析を行っている。この点については、JST-RISTEX 領域「現代メディア空間における ELSI 構築と専門知の介入」（代表・田中幹人）において引き続き対応していく。



図 11：NutShell のテストページの一例（COVI-19 問題のスレッド例）

④一(4)：特記事項

また NutShell の構築・実践においては、全体計画書における一つの目標となっていた α バージョンの構築と、トライアル参加者に向けた試行開始まで達成することができた。しかしながら全体計画において予定していた 2020 年度中における α バージョンの「領域内での」公開と試行繰り返しによる洗練化は、技術的課題の解決ならびに COVID-19 対応による作業の遅れなどの要因から、未達となった。ただし、 α バージョンでの開発という目標には到達できたため、今後は β バージョンへの改修を進めるなかで、複数議題に関する運用事例の蓄積を行っていく。

このための NutShell を用いた熟議の実践研究の継続の予算と新たな場の確保は行うことができている。今後は JST-RISTEX 『科学技術の倫理的・法制度的・社会的課題 (ELSI) への包括的実践研究開発プログラム』で新規に採択された「萌芽的科学技术をめぐる RRI アセスメントの体系化と実装」(代表：標葉隆馬)の研究計画と併せて、実際に NutShell を用いた実践と運用の事例蓄積を行っていく(勿論、HITE 領域内での活用を並行して行っていく)。

実施項目⑤：脳科学×AI 領域における RTTA の試行と、今後の議論・協力関係の模索

⑤-① 目的：

脳科学×AI 領域における ELSI 議題の探索的分析をおこなうと共に、今後の議論のための協力関係の構築・模索をする。

⑤-② 実施内容・方法・活動：

本項目は3つのサブテーマを実施した。

- A) 脳科学・神経科学領域における ELSI に関するノートの作成を行い、脳科学×AI 領域の ELSI 議論の土台作りをする
- B) 脳科学・神経科学に関わるメディア報道の分析から、関連テーマがどのように語られてきたのか、あるいはどのようなイメージで社会の中で受け止められてきたのかについて予備的な分析を行い、議論の参照点を獲得する。
- C) 脳科学×AI 領域の研究関係者との対話を通じた潜在的 ELSI 議題の言語化

⑤-③ 結果：

(A) 脳科学・神経科学 ELSI ノート

ここまでに、2本の ELSI ノートを公開し、3本のノートを2021年3月末を公開目標に準備を進めている。各ノートで取り扱った内容の概要は以下のようになっている。

Vol.6：神経科学・脳科学の研究の進展とともに、その成果の利用のありかた、特に道徳的エンハンスメント (moral enhancement) にかかわる諸問題に関心が寄せられている。そこで、この道徳的エンハンスメントの問題を考える上でとりわけ重要なテーマである「潜在的バイアス」について行われてきた倫理学・哲学分野における議論・視点を注目し、整理を行った。

Vol.7：米国大統領生命倫理委員会において脳神経科学分野の急速な発展を踏まえて取りまとめられた2本の報告書 (Gray Matters, vol. 1&2) の内容をまとめたものである。この議論は、米国における大規模脳科学研究プログラムである BRAIN イニシアチブと紐づけて行われたものであり、このような国家プロジェクトにおいてもどのような論点が注目されたのかに注目した。倫理的統合というアプローチ、また個別論点としての「認知エンハンスメント」、「同意能力」、「神経科学と法制度」といったテーマに関わる議論への注視があることなどは今後の本邦における議論においても参照点となることが考えられる。

準備中 2：国内の脳神経倫理関連テーマの先行研究の包括的レビューを行っている。

準備中 3：米国 BRAIN イニシアチブ、欧州 Human Brain Science の大規模脳科学研究プログラムにおける ELSI 関連研究のレビューを行い、これまでに指摘された論点の整理を行っている。

準備中 4：英国王立協会が発表した脳科学研究関連レポート *iHuman Blurring lines between mind and machine PERSPECTIVE* の議論内容のまとめを行っている。

(B) 脳科学・神経科学関連メディア報道の予備的分析

脳科学×AI 領域の今後の語られ方と社会とのコミュニケーションを検討するための参照点として、これまでのマスメディア報道の動向について定量テキスト分析による予備的分析を行った。

国内主要4紙（朝日新聞、読売新聞、毎日新聞、日本経済新聞）を対象に、検索クエリ＝「脳科学」OR「神経科学」として記事を収集した。今回の予備的分析では、対応分析を行い、時系列での特徴的な頻出キーワードの推移を可視化した。その結果の中で、ここでは代表的な例として朝日新聞の結果（図12）と、読売新聞の結果（図13）を提示している。

図12の朝日新聞、図13の読売新聞の結果に共通した特徴として、各時期ごとに一種のブームとなっているキーワードやテーマが存在し、それに話題が引き寄せられていることが挙げられる。例えば遺伝子組換え生物（GMO）の関連記事で同様の分析を行った場合は、原点付近にキーワードの登場が相対的に多くみられるが（各時期に共通して登場しやすい話題やキーワードが一定数ある）、脳科学・神経科学関連報道ではそのような共通キーワード・テーマが少ない（すなわち、各時期で注目される話題・キーワードがはっきりとしており、偏りがある）。

その上で、若干の時期のずれはありつつ、図12ならびに図13では、基礎研究に関する報道から次第に、「脳の発達や学習」、「ロボットとの関わり」などのテーマに移行していることが見て取れる。また、より近年では教育との関わり、認知症や疾患の治療といったテーマに注目がされていることが見て取れる。

今回の予備的分析では、日本語対応テキストマイニングツールである KH Coder を使用している（樋口 2019）。ここで得られた共起に関するベクトルデータを使用し、今後フレーミングの変化や、倫理的課題への言及状況などの詳細な分析を行っていく。

(C) 脳科学×AI 領域研究者との対話

JST-RISTEX「人と情報のエコシステム」領域事務局に仲介の下、脳科学×AI 領域研究者との対話とヒアリングをスタートした。今後、本格的に展開するかも含めて、検討を重ねていくところである。

⑤-4) 特記事項：

JST-RISTEX「人と情報のエコシステム」領域事務局に仲介を頂いて取り組みをスタートしたテーマであり、先端的な融合領域における ELSI 課題の分析実践の積み重ねの例となることが期待される。

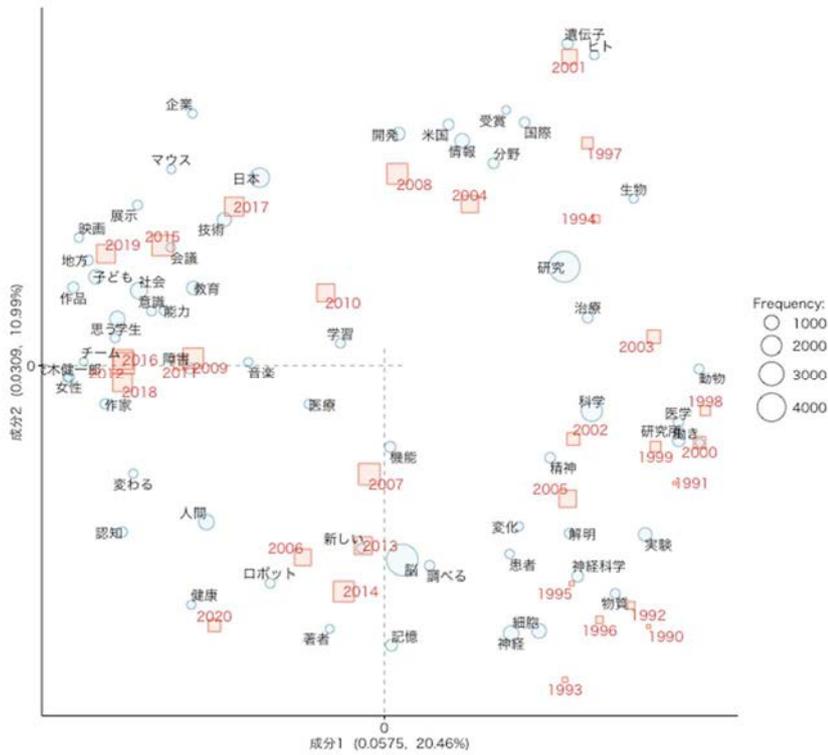


図 12：朝日新聞, n=1784, 1990年1月1日～2020年4月18日、最小出現数 300 回、139 語使用 (χ^2 値上位 60 語を表示)

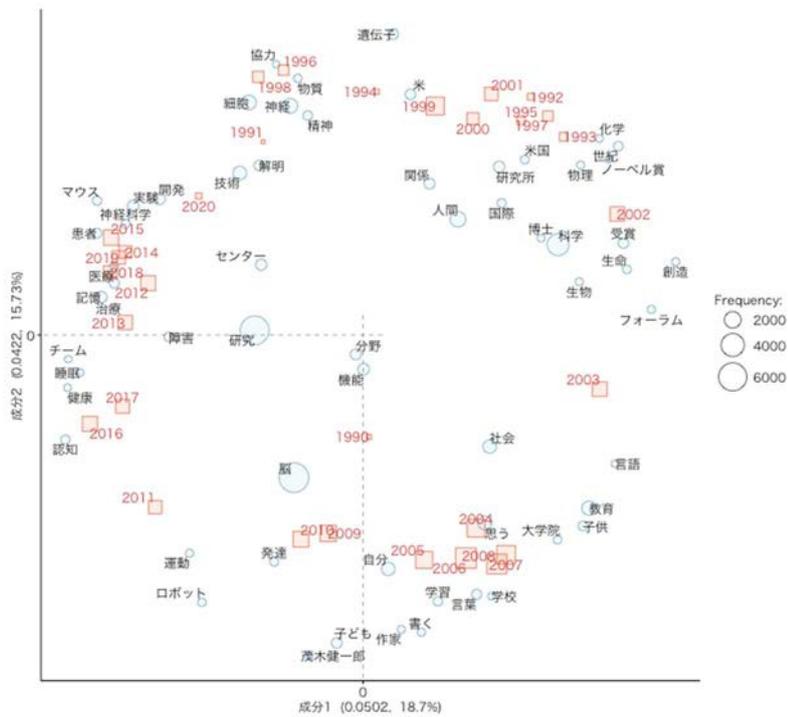


図 13：読売新聞, n=1939, 1990年1月1日～2020年3月22日、最小出現数 300 回、139 語使用 (χ^2 値上位 60 語を表示)

<その他の特記事項、PJ 上の課題と工夫など>

ELSI/RRI 議題の洞察と対応、そしてその先にある「情報技術（先端技術）と人間のなじみのとれた社会」においては、人文・社会科学分野を専門とする ELSI 研究者が ELSI を考えるだけではなく、実際の科学研究の現場の研究者が自律的に考え、多様なアクターと議論できるエコシステム形成が必要であると考えている。そのため、本プロジェクト実施に際して最も注力した事柄は、協働して研究を行う分子ロボティクス分野の研究グループとの密なコミュニケーションを行い、対等な形で議論を行いつつ、最終的に ELSI 研究者は伴走役、背景としての性格を強めていくことを目指した。

小長谷 PJ 関係者らとの頻繁且つ密なコミュニケーションをベースとした信頼関係の構築によって、このような企図は理解をされ、またある程度実践できたものと考えている。

例えば、本プロジェクトでは、分子ロボット技術の環境・農業利用という将来像と、そのための研究を北海道において行いたい計画を共有され、それに伴う ELSI 議題を市民対話の中で導出したいという企図の相談を受けた。ここで重要なのは、分子ロボット研究者である小長谷 PJ のメンバーが、これまでの協働の中で、フィールド候補が北海道が過去に BSE や GMO などをめぐる社会的議論が積極的に行われてきた歴史的経緯があることをすでに把握し、だからこそ市民対話の必要性を共有できていた点である。そして、そのためのキーパーソンの紹介を本プロジェクトに期待してきた。

このような経緯から、本プロジェクトでは、北海道における萌芽的技術をめぐる市民対話のキーパーソンとして北海道大学の吉田省子氏（当地における GMO 市民対話をはじめとする様々な取り組みを担ってきた研究者である）を紹介し、また市民対話実践に必要な人材とのネットワーキングと関係者間での議論を繰り返す支援を行った。

この対話実践基盤は、JST-RISTEX 『科学技術の倫理的・法制度的・社会的課題（ELSI）への包括的実践研究開発プログラム』に企画調査として採択された「分子ロボット技術の社会実装に関する RRI コミュニケーション実践の企画調査」（代表：小宮健）においても引き継がれている。この小宮 PJ における新しい試みの企画は、かつて遺伝子組換え技術が登場した際に行われた科学者自身による議論（アシロマ会議）のポジティブな含意に注目しながら、ELSI の論点までを視野に捉えた現代的なものに自律的にアップデートするというものである。言い換えるならば、これは、分子ロボティクス研究者自らが自律的かつ持続的な ELSI 議論とコミュニケーション活動を作り出すための実践研究であり、「研究者の自治」の新しい形を模索するものである。この活動における問いの形成、そして対話実践、コミュニケーション実践に、本プロジェクトメンバーは伴走する形で協力している（関連する打ち合わせを毎週定例ミーティングとして行っている）。

もう一つの特記事項は、本プロジェクトの成果をベースとした積極的なスピノフプロジェクトの展開と、より広範囲の領域を対象とした継続プロジェクトの実施にある。一つは、公益財団法人トヨタ財団 特定課題プログラム『先端技術と共創する新たな人間社会』『分子ロボットロードマップ構想に向けた分野間・国際間共同研究』（代表：標葉隆馬）として採

採られたプロジェクトであり、分子ロボティクス研究におけるリスクと ELSI に関わる「語り」から、その問題領域の境界設定の理解を深め、その分子ロボティクス領域のロードマップに活かす研究プロジェクトである。このプロジェクトでは東京工業大学・小宮健氏の協力参加を得ると共に、エジンバラ大学のグループとのデータ共有・議論を積極的に行っている。

また、JST-RISTEX『科学技術の倫理的・法制度的・社会的課題（ELSI）への包括的実践研究開発プログラム』に採択された「萌芽的科学技術をめぐる RRI アセスメントの体系化と実装」（代表：標葉隆馬）では、分子ロボティクスとの協働研究を更に継続しながら、隣接分野である合成生物学、そしてゲノム編集、再生医療といった領域との比較研究を行う発展プロジェクトの実施にも着手した。

このような発展的な活動の基盤になるものが、ELSI ノートの公開であると考えている。現在では、代表者所属する大阪大学社会技術共創研究センターの主活動の一つともなっている。また ELSI ノートを作成する中で、研究開発現場にとって身近な問題として感じるような事例の紹介、自分の強みと表裏一体の ELSI 問題への関心の強さを踏まえた分析など、研究開発現場へのフィードバック方法（「腑に落ちる」情報共有の仕方）についてのノウハウも見出しつつある。また研究者自身が行った市民対話で得られた論点をベースとして ELSI ノートを再構築し、研究開発の現場に返していくという試みも始まった。

これらのプロジェクト間連携では、HITE 事務局に多くの調整と配慮を頂いており、この場を借りて感謝申し上げます。

また本プロジェクトにおいては、人材育成においても、若手のアイデアが活かされた点は強調しておきたい。本プロジェクトで雇用された研究員・RA はそれぞれが論文を執筆・公表を達成した（論文 1~4）。また、そのうち一名は、本プロジェクトでの活動とノウハウ獲得をベースとして、大阪大学・社会技術共創研究センターにおいて特任助教のポジションを得るなどのキャリアパスにおいても一つの成果を得た。このような事例が、日本において未だ不足している萌芽的科学技術に関わる TA 人材の育成という効果が期待される。

最後の特筆すべき点としては、本プロジェクトの調査過程で得た結果をベースとして、分子ロボコミュニティ向けの教科書における倫理的・法的・社会的課題（Ethical, Legal, and Social Issues: ELSI）の知見共有のための教科書の章執筆をおこなって点（標葉 2019）。そして、より広い関係者を想定した萌芽的科学技術の ELSI ならびに責任ある研究・イノベーション（Responsible Research & Innovation: RRI）に関わる議論を総覧できる専門テキストの発行を行った点である（標葉 2020）。今後の RTTA をめぐる研究・実践の基本参照点となることが期待される。

3. 研究開発成果

3-1. 目標の達成状況

本プロジェクトで達成を目指したアウトプット・アウトカムは以下のものである（再掲）。

- ① メディアの動向分析とホライズン・スキヤニングを活用した議題候補リスト提示機能の構築：分子ロボティクスならびに人工知能事例での試行
- ② SMC を活用したステークホルダー参加型の議題共創プラットフォーム（NutShell）の構築：分子ロボティクスと人工知能事例での試行
- ③ 実践による RTTA システムの社会実装上の課題の明確化と TA ノートの公開：プロジェクトの成果を速報的な TA ノート（4~6 本程度）として公開すると共に、国内外の RTTA 研究者の協力を得ながら当該 PJ の評価と社会実装に向けた提言をまとめる。
- ④ （追加）新型コロナウイルス感染症（COVID-19）対応における今後の議論に、NutShell を活用するための準備を行う。
- ⑤ （追加）脳科学×AI 領域における RTTA の試行と、今後の議論・協力関係の模索を行う。

<目標とするアウトカム>

- TA ノートの公開による分子ロボティクス・人工知能領域の社会的議題の提示
- RTTA システムの実践・実装にともなう課題と対応のための知見とノウハウの蓄積
- ステークホルダー間のコミュニケーション促進
- 現場研究者や政策担当者が参考とする ELSI についてのエビデンスの質向上（議題リストの活用）
- 政策アジェンダ構築プロセスの透明性向上
- わが国における TA の実施機関・実施者ネットワークの形成と、国外機関との連携

全体的な状況としては、当初の達成目標にはおおむね到達できたものと考えられる。

まず分子ロボティクスにおける社会的議題の提示と過去事例との結びつきの議論の充実とその成果の学術論文としての発表（論文 1, 3, 4）、複数本の ELSI ノート（TA ノート）の発行と共有（ELSI/TA ノート 4 本+準備中 1 本）、倫理原則案の共創・試作への協力、教科書への参加（書籍 2）など、成果が形となっており、アウトプット・アウトカム目標の多くが達成された（あるいは達成されつつある）と考えられる。

また分子ロボティクスの RTTA を行う上で実施した、合成生物学や関連事例の網羅的分析の成果は、ELSI や RRI、そして RTTA を包括的かつ網羅的に解説する学術書としての出版としての成果にもつながった（書籍 1）。この書籍は、科学技術政策に関わるアクターにとっても萌芽的科学技術の社会的議題をどのように議論するのかにおいて基本的な参照点として活用できるものであり、アウトカム目標に関わる成果として大きな効果を持つと考えられる。

また分子ロボティクス分野の研究者らとは、さらに発展的な協働の形として、新規な共同研究の展開がなされており（JST-RISTEX『科学技術の倫理的・法制度的・社会的課題（ELSI）への包括的実践研究開発プログラム』における標葉 PJ ならびに小宮 PJ の採択、トヨタ財団

助成プロジェクトの採択、東京工業大学循環共生圏農工業研究推進体への参加など)、当該先端技術の研究者コミュニティとの関係性を中心に、ステークホルダー間のコミュニケーションの促進において大きな進展があったと言える。例えば、JST-RISTEX『科学技術の倫理的・法制度的・社会的課題 (ELSI) への包括的実践研究開発プログラム』に採択された「分子ロボット技術の社会実装に関する RRI コミュニケーション実践の企画調査」(代表:小宮健)が、分子ロボティクス領域の研究者が能動的かつ持続的に実施する対話実践を通じて、新しい研究者の自治のモデル構築を目指すものであり、本プロジェクトの成果やネットワークがこのプロジェクト実施にさいして一助となれたことは大きな波及効果の一つとしてアピールできる。またこの間に、小長谷 PJ との連携において、分子ロボティクスの将来活用想定となっている農業・環境利用を見据えた市民対話に関わるキーパーソンとのネットワークの仲介、農業関係者らとの市民対話デザインへの協力なども行い、新たな展開への協力・参加も実施できている点は強調できる。

そして、これらの活動・成果をベースとしながら、その応用として、再生医療、合成生物学、脳科学×AI 領域の研究者における社会的議題の新規テーマ検討につなげていることも、コミュニケーションの促進の証左と言える。国外機関との連携においても、エジンバラ大学の研究ユニット (Jane Calvert 教授ら) との共同研究が始まるなどの具体的なアクションに繋がっている。

また、2020 年度に追加となった脳科学×AI 領域における RTTA の試行と、今後の議論・協力関係の模索においても、新聞報道における報道関心の推移の可視化の予備的分析(実施項目⑤を参照)と ELSI ノート (TA ノート) の作成(本報告執筆時点で 2 本の公開、3 本の公開準備)という達成が得られると共に、JST-RISTEX「人と情報のエコシステム」事務局のファシリテーションによって関連アクターとの複数回のディスカッションを行うことができた。

また NutShell の構築・実践においては、COVID-19 とその専門家会議に主要メンバーが深くかかわることによる予定の変化などの中で、全体計画書における一つの目標となっていた α バージョンの構築と、トライアル参加者に向けた試行開始までこぎつけることができた。しかしながら、テクニカルエラーの解決ならびに COVID-19 対応による作業の遅れなどから、全体計画において予定していた 2020 年度中における α バージョンの領域内公開と試行繰り返しによる洗練化は、当初予定よりもやや遅れてしまったことは否めない。そのため、 α バージョンでの実践を複数事例蓄積と洗練化は、今後の課題となっている。

但し、NutShell を用いた熟議の実践研究の継続の予算と新たな場の確保は行うことができている。今後は JST-RISTEX『科学技術の倫理的・法制度的・社会的課題 (ELSI) への包括的実践研究開発プログラム』で新規に採択された「萌芽的科学技術をめぐる RRI アセスメントの体系化と実装」(代表:標葉隆馬)の研究計画と併せて、実際に NutShell を用いた実践と運用の事例蓄積を行っていく(勿論、HITE 領域内での活用を並行して行っていく)。また、この COVID-19 において主要メンバーが政府の専門委員として関わることになったこ

とを奇貨として、NutShell を COVID-19 に関わる議論の場として活用する可能性を模索することの可能性が増した。その実践の機会をとらえ、運用と改善のトライアルを今後、実施していく。

3-2. 研究開発成果

成果：メディア分析による分子ロボティクスをめぐる「社会技術的想像」と議題の抽出

(1)内容

実施項目①に記述したように、分子ロボティクスという新規な科学技術は、その言葉のイメージから、ナノテクノロジーに近いイメージでとして人々に受け止められる可能性が高いのではないかという分析を得た。またその結果から、ナノテクノロジーをめぐるこれまでの報道やリスクイメージを分析することで、今後の ELSI をめぐる議題の参照点になると考えられた。その中で、とりわけ環境・農業利用に対するリスクイメージの重要性、「公害」をめぐる表象との向き合い方などの課題を明確化することができた。

なお、ナノテクノロジー報道に関する研究事例自体は海外においても既にみられるものだが、海外の先行研究事例の含意と異なり、グレイ・グー的な表象が登場しないこと、先述のように「公害」の表象が潜在することなどが海外先行研究の結果との違いとして得られている。

この結果の直接的なユーザーは、分子ロボティクス研究開発者である。協働している小長谷 PJ においては、本知見はすでに共有されており、議論の参照点の一つとなっている。また今後においても、当該領域の研究開発の現場にいる研究者が、自律的に ELSI を議論するための参照知見なることが期待される。

(2)活用・展開

本研究に必要な人材は、定量的・定性的両面からメディア言説を分析できる専門人材である。本研究プロジェクトにおいて（ならびに発展的展開を目指す JST-ELSI 領域のプロジェクトでも）、その人材の育成を行ってきた。しかしながら、そのようなスキルセットを持って科学技術の社会的議題に取り組むプレイヤーの絶対数は現時点では確実に足りていない。

このようなメディア分析から、議題抽出、熟議までの流れを OJT の形で体験できる場が増えていくことが期待される。

(3)その他

グラフィカルなデータが出てくることで、インフォームドな議論になること、またアイスブレイクとしても有効な活用ができる。

成果：分子ロボティクス分野における ELSI/RRI 議題の可視化

(1)内容

実施項目②で記述したように、実施項目①の知見も活用しながら、ELSI 議題の洞察ワークショップや半構造化インタビューの繰り返しから、分子ロボティクス分野に関わる ELSI 議題の抽出を行い、可視化を行った。

この結果は、論点マップあるいは ELSI ノート (TA ノート) として、協働を行っている分子ロボティクス研究者ならびに ELSI 研究者などにまずは参照されている。ここでの新規性は、分子ロボティクスという萌芽的科学技術について、非常に上流から ELSI 議題の抽出・可視化を行っているという点である。比較的似た取り組みとして、英国合成生物学ロードマップである。しかし、英国の事例と比較して、より基礎研究の段階からの ELSI 議題の抽出がスタートしたこと、科学者と ELSI 研究者がより早い段階から積極的な議論を重ねて論点の可視化を行っている点が特徴となっている。

実際にここで、作成された論点マップは、その後の議論においても繰り返し参照される資料となっている。これらの成果や過程については、現在論文として投稿を準備している。

(2)活用・展開

実施項目②で得た論点マップは、複数のものが得られることで論点の相場観までが浮かび上がってくることがポイントとなってくる。このような視点を踏まえ、オンラインプラットフォーム Nutshell の構築を進めてきた。今後は、様々な事例で、オフラインならびにオンラインそれぞれでの ELSI 議題抽出取り組みを重ね、モデルの一般化を行っていくことが必要となる (繰り返しになるので割愛するが、後継プロジェクトにおいて引き継いで取り組んでいく)。

(3)その他

論点マップのビジュアル化など、可視化の技法は、その後の議論や研究において非常に有効なツールとなった。小長谷 PJ との協働においても、論点マップには、繰り返し立ち戻つての議論が行われた。

成果：ELSI ノート (TA ノート) の公開

(1)内容

分子ロボティクスを巡る社会的議題の議論に資するように、関連する先行知見をとりまとめた ELSI ノート (TA ノート) を作成した。本ノートは、一部の除いて基本的に公開されるものであり、誰でも見れるものとなっている。その内容は、上述しているが、下記に再掲する。

<ELSI ノート (TA ノート) の内容・再掲>

- Vol.1 : ナノテクノロジー、GMO、合成生物学、再生医療の事例から得られる ELSI 知見を概観するとともに、分子ロボティクス研究者も交えて行った ELSI 議題抽出ワークショップから得られた論点を取りまとめた。
- Vol.2 : Vol. 1 取りまとめる過程において、Dual Use に関する論点が繰り返し指摘されたことから、Dual Use に関する ELSI 論点をまとめる必要が生じた。しかしながら、関係者間で必ずしも Dual Use に関わる基本的事項が共有されているわけではないことが分かり、今後の議論の土台作りが必要となった、そのような背景から、Dual Use をめぐる国内外の基礎的議論をまずは分野一般的な視点からとりまとめた。
- Vol.3 : 分子ロボティクスにおける国際学生コンペである BioMOD の採点基準を更新する議論において、研究倫理 (research ethics) や研究公正 (research integrity) の視点を導入することで、ELSI 的視点を自然と身につくような教育・環境の構築ができないかという相談が寄せられた。そのような背景から、研究倫理・研究公正の講義を実際に行っている国内大学教員へのヒアリング調査、国内外における関連指針のレビューを行い、論点整理を行った。そのうえで、採点基準に ELSI 視点を入れるための素案を作成し、分子ロボティクス研究者のカウンターパートと共有した。
- Vol.5 : Dual Use をめぐるリスクにおいて DIY バイオに代表される市民科学的な動向は大きな論点になることから、DIY バイオに関わる議論を中心に、昨今の市民科学をめぐる議論の包括的レビューを行った。
- 準備中 1 : 分子ロボティクスの隣接分野である合成生物学の論点を参照することの重要性から、米国米国大統領生命倫理委員会報告 *New Directions: The Ethics of Synthetic Biology and Emerging Technologies* の概要を取りまとめるノートを作成中である。

(2)活用・展開

ノートは、協働における議論において参考資料として共有するとともに、分子ロボティクス研究の協働側からのリクエストや質問にも応答する形で作成されたものもある。

現在では、代表者の現所属である大阪大学社会技術共創研究センターにおける基本ワークの一つとなっており、今後より積極的かつ多角的な展開が行われることが期待できる。

(3)その他

ノートの作成が、概論書の執筆などのアウトプットのベースとなるなどの効果が更にあった。現在、脳科学領域におけるノートの作成も並行して行っており、今後の新たな議論の参照点としての活用が期待される。

成果：熟議の場の構築 (オフライン+オンラインプラットフォーム NutShell)

(1)内容

実施項目④記載の通り、ステークホルダー参加型議題共創実践と、その議題共創に関するオンラインプラットフォーム (NutShell) の試作版の構築を行い、ELSI 議題の熟議実践から、

論点の相場観の可視化手法を創出した。

NutShell は、ステークホルダー参加型議題共創プラットフォームの実践を行うと共に、オンラインでの議論プラットフォームのシステムの試作版(α版)として、民間企業と共同し、フルスクラッチからの作成を行った。この議論プラットフォームの構築実践を、分子ロボティクスの事例などを中心に行い、最終的にオンラインでの熟議や論点可視化の実践を試みた。また、議題リストに対する適切な「編集」プロセスのノウハウ獲得とそのマニュアル化を進めた。

NutShell のコンセプトの源流には、「専門知を踏まえた忌憚りの無い議論が可視化されるウェブ空間」が必要だ、という東日本大震災後の社会的議論を踏まえた反省がある。このため、このコンセプトに対し共感した(有)バッカムの協力を得て、NutShell の開発を進めた。開発に際しては議論を繰り返し、(1)専門家による半匿名の議論の場であること、(2)最新の科学技術トピックに関する自由な議論の場であること、(3)論理への共感と意見への共感を別個に意思表示可能なこと、(4)閲覧するメディア関係者に対してアクセス権を付与する、などの数々のアイデアを盛り込んだシステムを開発した。

(2)活用・展開

フルスクラッチゆえの困難や課題はあったが、NutShell のシステム開発は、本報告を執筆した2021年1月末時点までに、システムのバグ修正、試験実施のための問題点の洗い出しを行い、試運転可能な段階まで到達した。プロジェクト関係者と分子ロボティクス関係者を中心としたテストユーザーへの招待を行い、当初計画通りにα版のテストを行った。

現時点ではα版であり、デザインコンセプトに含まれていた上記4つの課題のうち、(1)専門家による半匿名の議論の場であること、(2)最新の科学技術トピックに関する自由な議論の場であること、(3)論理への共感と意見への共感を別個に意思表示可能なこと、といった最初の3つの機能実装は進んでおり、「専門家の議論プラットフォーム」としての展開は始まっている。いずれのβ版では残る、(4)閲覧するメディア関係者に対してアクセス権を付与する機能の実装によって、社会に開かれた議論が実現できるものとする。

上記のように、当初目的のα版機能の実装は完了した。今後は機能強化し、また社会実装したβ版への発展を目指し、JST-RISTEX・ELSI 領域「萌芽的科学技術をめぐるRRIアセスメントの体系化と実装」プロジェクト(代表・標葉隆馬)、ならびにJST-RISTEX 領域「現代メディア空間におけるELSI構築と専門知の介入」(代表・田中幹人)においても連携しつつ、引き続き対応していく。

(3)その他

NutShell の運用に際しては、PJ 外で参加を依頼した研究者のみならず、小長谷PJに参加しているメンバーも議論に参画いただいた。これにより、分子ロボティクスの議論についても他分野の「準専門家」との協働のもとで議論を展開する試行を行うことができた。

また、分担者である田中が、COVID-19 対応の専門家委員となったことを奇貨として、「新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) 対応における今後の議論に NutShell を活用する」(アウトプット目標④) を追加し、試験的に「コロナ下での研究活動議論」などのトピックを展開している。これらは、本プロジェクトの今後の成果としてさらなる多様な展開が期待できる。

成果：先端的科学技術をめぐる社会的議題に関する包括的概論書

(1)内容

本プロジェクトで進めてきた関連事例の先行議論の包括的レビューの結果を活かしながら、先端科学技術をめぐるこれまでの ELSI や RRI に関わる議論を網羅的に解説した概論書を執筆し、公刊した (標葉 2020=書籍 1)。本プロジェクトで行っている実際の研究開発の現場とのコミュニケーション、また知見共有を強く意識して執筆をおこなったものであり、研究開発の現場にある科学者・技術者、ELSI に関わる研究者、ジャーナリスト、政策担当者等、先端科学技術の社会的議論に関わる幅広いアクターにとっての参照点となる。

(2)活用・展開

先端的科学技術をめぐる ELSI や RRI に関わる知見は、研究開発の現場の科学者・技術者、そして ELSI 研究に関係する人文・社会科学分野の研究者、行政官、ジャーナリストなどの間でもきちんと体系的・系統的に把握されているわけではない。そのため、ELSI 議題に関わるリアルタイム・テクノロジーアセスメントならびにその知見を活用した熟議において、関係者間でその基礎的知見を包括的かつ網羅的に見ることのできる基本参照点の必要性を、本プロジェクトを進める過程において痛感した。

このような背景から、本プロジェクトで進めてきた関連事例の先行議論の包括的レビューを活かしながら、先端科学技術をめぐるこれまでの ELSI や RRI に関わる議論を網羅的にカバーした概説書を刊行し (標葉 2020=書籍 1)、また共同先の分子ロボティクス関係者とも共有した。本書は、今後も状況の更新 (含、科学技術政策的展開) に応じてアップデートを行う予定である。

(3)その他

今後の積極的な活用を、更に模索していく。

成果：脳科学×AI 領域における議題候補の抽出

(1)内容

JST-HITE 事務局の仲介の下、脳科学×AI 領域における ELSI 議題候補に関する予備的分析を行った。具体的には、脳科学・神経科学領域における ELSI に関するノートを作成、脳科学・神経科学に関わるメディア報道の予備的分析、脳科学×AI 領域の研究関係者との対話

を通じた潜在的 ELSI 議題の言語化の模索である。

本報告執筆時点において、この予備的分析の結果を、脳科学×AI 領域関係者とのコミュニケーションを通じて共有していく過程にある。

(2)活用・展開

本成果は、予備的な取り組みによるものであるため、今後の展開等については不透明である。しかしながら、得られた結果の含意は脳科学領域の社会的議論に広く資するものであると考えている。脳科学×AI 領域をはじめとした関係者との協働関係が構築できた際には、脳科学領域のより広いアクターとの知見共有と持続的な議論、そして具体的な ELSI 対応方策の検討などにつなげていくことが期待される。

(3)その他

JST-RISTEX「人と情報のエコシステム」領域の仲介による脳科学×AI 領域との協働である。本プロジェクトのテクノロジーアセスメントの特性を活かすことのできるフィールドであり、今後の更なる協働の機会を期待する。

3-3. 今後の成果の活用・展開に向けた状況

短中期的には、本研究プロジェクトでこれまでに得られた成果の活用、そして残された課題の克服を、JST-RISTEX『科学技術の倫理的・法制度的・社会的課題（ELSI）への包括的実践研究開発プログラム』における「萌芽的科学技術をめぐる RRI アセスメントの体系化と実装」（代表：標葉隆馬）において継続して取り組んでいく。またその場を活用して、合成生物学、再生医療、ゲノム編集、バイオ DX 領域、脳科学領域、ヘルケアデータ活用など幅広い領域やテーマにおける ELSI 議題の抽出と熟議の実践を行う。

この過程を通じて、HITE 領域での研究活動モデルの適用範囲の拡大し、横断的な比較研究を行い、中期的により一般的な RTTA モデル（RRI アセスメントモデル）の構築と定着を目指している。

その過程では、協働を行っている分子ロボティクス研究グループとは、現在また今後も緊密なコミュニケーションと連携を行っていくことが期待できる状況にある。また、様々な市民対話実践をはじめとして関わるアクターの種類は増えつつある。今後、隣接分野との比較研究なども行うことで、研究開発者間におけるネットワークの変化などにも寄与できる可能性を増やしていきたいと考えている。

これらの活動、そして本研究で得られた著作・論文を含めた成果は、＜想定される成果の波及効果＞で記述した項目の中でも、「議題共創コミュニケーションプラットフォームに関する構築・運営技術」の充実、「TA や ELSI、ホライズン・スキヤニング、責任ある研究・イノベーション（RRI）等、共創的イノベーションに関する科学技術政策・科学技術社会論

分野の学術的発展」、「情報技術とその活用が前提となる萌芽的分野における ELSI を踏まえた研究開発の進展や法規制の整備」、「わが国における TA やホライズン・スキヤニングの社会実装に向けた関係機関・関係者ネットワークの持続的発展」に直接的につながっていくものであり、長期的なインパクトが期待できると考えている。また、先述した小宮 PJ の展開のプロジェクト間支援などによって、「研究者の自治の発揮のあり方について一つのモデルを提示」にも積極的な貢献が可能であると考えている。

4. 領域目標達成への貢献

急速な発展を見せる情報技術分野では、同時に様々な倫理的・法的・社会的影響 (Ethical, Legal, and Social Implications: ELSI) の問題が浮上している。このような ELSI の議論の盛り上がりは、論点の多様化と深化をもたらすとともに、時として社会の中で議論すべき議題の混乱も招いている。そのような状況において先端情報技術と社会のあり方をより建設的に議論するためには、「先端情報技術がもたらす ELSI 議題を抽出するテクノロジーアセスメントシステム」ならびに「情報技術の開発に ELSI 議題と社会的要請をフィードバックするための方法論」が必要となる。

そのため本プロジェクトでは、情報技術のためのリアルタイム・テクノロジーアセスメント (Real-Time Technology Assessment: RTTA) のシステムを構築することで、「情報技術の開発に社会的要請をフィードバックするための方法論」を開発する。

本プロジェクトは以下の3つのサブプロジェクトから構成される。

- ① メディア分析およびホライズン・スキヤニングを活用した、研究開発の早期からの ELSI 議題抽出システムの開発
- ② ELSI 議題を現場の科学者・技術者、ジャーナリスト、政策担当者、市民の間で熟議するためのコミュニケーションプラットフォームの構築
- ③ 分子ロボティクスならびに人工知能を具体的なフィールドとして、社会的議題に関する知見と議論の結果を現場の研究者・技術者にフィードバックする方法論についての実践的研究

本プロジェクトの第一の目標は、①・②の RTTA システムの開発研究を通じて効果的な ELSI 議題抽出システムとステークホルダー参加型のコミュニケーションプラットフォームを構築することである。加えて、H28 年度企画調査から構築してきた分子ロボティクス分野との協力関係を使い、③のフィードバック方法の実践的研究を行う。また比較対象として人工知能分野を事例とした実践的研究も並行して試みる。これらの実践を通じて、当該 RTTA システムの実装上の課題を現場の研究者と共に再帰的に検討・改善する。

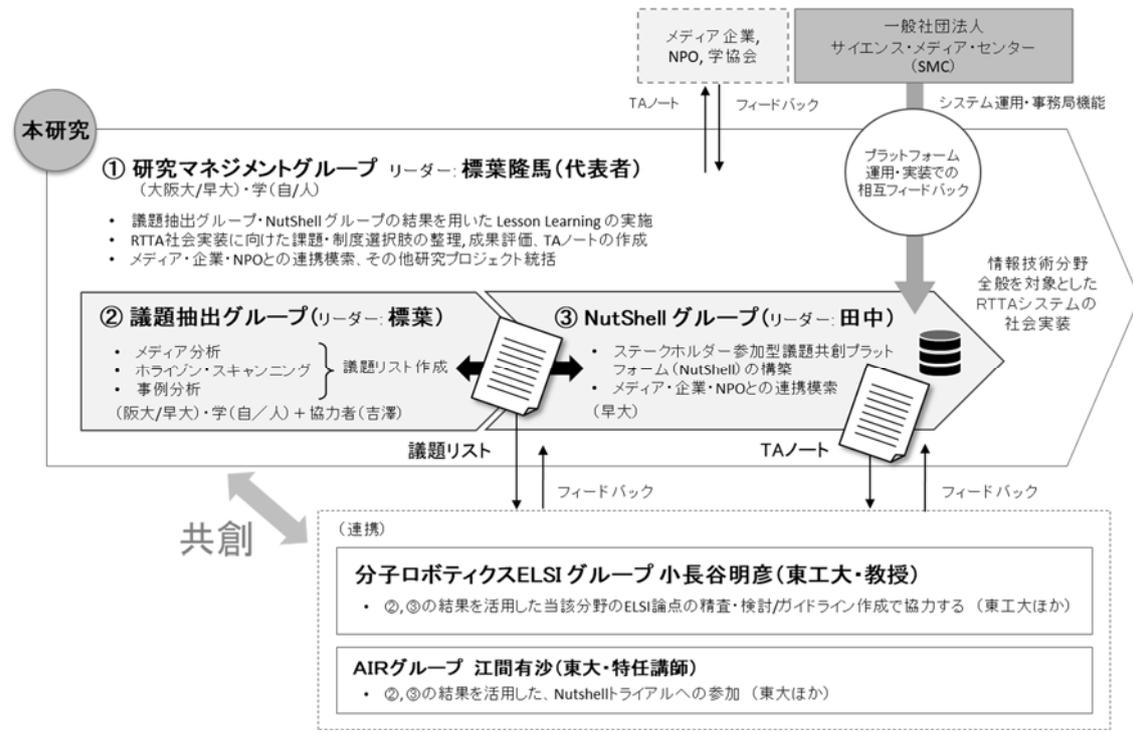
この研究を通じて「人と情報のエコシステム」領域の研究者の積極的な参加のリクルートを行い、領域内におけるコミュニケーションの場としての機能を目指す。また本プロジェクト

トで得られる論点を TA ノートとして順次公開すると共に、ジャーナリスト、政策担当者、NPO 関係者などを交えたコミュニケーションの場を作ることで、領域の共進化プラットフォームとして活用するための実践上・運用上の課題も同時に検討する。

以上の領域達成目標への貢献の道筋について、これまでの研究活動から学術的ならびに実践的な知見の獲得が実際になされたものと考えられる。すなわち、本研究開発 PJ 自体が、先端科学技術領域におけるリアルタイムでの ELSI 議論の導出、そして研究者の自治の模索の一つのモデル提示を行ったと言える。

5. 研究開発の実施体制

5-1. 研究開発実施体制の構成図



5-2. 研究開発実施者

(1) RTTA システム構築グループ(兼・統括マネジメントグループ) (リーダー氏名: 標葉隆馬)

役割: 各グループの研究進捗を管理するとともに、知見の統合を行うことで RTTA システムの検討・実践し、プロジェクト全体の知見の統括と発信を行う。また分子ロボティクス分野を中心に、先端科学技術に関する議題抽出活動で得られた議題候補や論点を基に TA ノートを作成ならびに分子ロボティクス ELSI ガイドラインの作成過程への協力等を行う。

氏名	フリガナ	所属機関	所属部署	役職(身分)
標葉 隆馬	シネハ リ ユウマ	大阪大学	社会技術共創研究センター	准教授
田中 幹人	タナカ ミ キヒト	早稲田大学大学院	政治学研究科ジャーナリズムコース	准教授

(2) NutShell 構築グループ (リーダー氏名：田中幹人)

役割：専門家をはじめとしたステークホルダー参加型コミュニケーションプラットフォーム (NutShell) のシステム α バージョンの構築を行う。また専門家—ジャーナリスト間の仲介・コミュニケーションを実践してきたサイエンス・メディアセンター (SMC) 関係者の協力を得ながら、NutShell 試作バージョンにおける議題候補リストの反映、ならびに運用のマニュアル作成を行う。

氏名	フリガナ	所属機関	所属部署	役職 (身分)
田中 幹人	タナカ ミ キヒト	早稲田大学大学院	政治学研究科ジャーナリズムコース	准教授
吉永 大祐	ヨシナガ ダイスケ	早稲田大学大学院	政治学研究科ジャーナリズムコース	博士研究員
標葉 隆馬	シネハ リ ユウマ	大阪大学	社会技術共創研究センター	准教授

(3) 議題抽出システム研究グループ (リーダー氏名：標葉隆馬)

役割：分子ロボティクス・人工知能等を対象としたメディア分析を行うと共に、主として分子ロボティクスを対象としたホライズン・スキヤニングを行う。得られた結果を基に、統括グループメンバーを中心として TA ノートの作成を行う。また議題抽出のリスト化とボトムアップの議論における議題共有のマッチアップ方法について検討する。

氏名	フリガナ	所属機関	所属部署	役職 (身分)
標葉 隆馬	シネハ リ ユウマ	大阪大学	社会技術共創研究センター	准教授
河村 賢	カワムラ ケン	大阪大学	社会技術共創研究センター	特任助教
大塚 薫	オオツカ カオル	成城大学	「科学技術と社会」研究センター	RA
片岡雅知	カタオカ マサノリ	成城大学	「科学技術と社会」研究センター	RA
森下 翔	モリシタ ショウ	大阪大学	社会技術共創研究センター	特任研究員

5-3. 研究開発の協力者

氏名	フリガナ	所属	役職(身分)	協力内容
小長谷明彦	コナガヤ アキヒコ	東京工業大学	教授	PJ 調査協力
吉澤剛	ヨシザワ ゴウ	オスロ都市大学	准教授	PJ 調査協力
江間有沙	エマ アリサ	東京大学	特任講師	PJ 調査協力
八木絵香	ヤギ エコウ	大阪大学	准教授	研究者コミュニケーションに関する助言
細野光章	ホソノ ミツアキ	岐阜大学	教授	RTTA 社会実装への助言
藤本翔一	フジモト ショウイチ	NEDO	研究員	NEDO 事業に関わる TA 事例調査協力
ドミニク・チェン	ドミニク チェン	早稲田大学	准教授	NutShell 構築への助言
Jane Calvert	ジェーン カルバート	エジンバラ大学	教授	PJ に対する助言、海外類似事例の知見提供
Ira Bennett	イーラ バレット	アリゾナ州立大学	准教授	PJ に対する助言、海外類似事例の知見提供
Rinie van Est	リニー ファン エスト	ラテナウ研究所	主任研究員	PJ に対する助言、TA と政策反映に関する専門的知見の提供
三成寿作	ミナリ ジュサク	京都大学	特任准教授	ヘルスケア情報活用に関する知見提供
福本江利子	フクモト エリコ	広島大学	特任助教	TA に関する国際連携・事例調査
田原敬一郎	タハラ ケイ イチロウ	未来工学研究所	主任研究員	先端研究開発動向とその社会的課題の調査

機関名	部署	協力内容
エジンバラ大学	School of Social and Political Science	本 PJ で得られたデータに関するディスカッション

6. 研究開発成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動など

6-1. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など

6-1-1. プロジェクトで主催したイベント（シンポジウム・ワークショップなど）

年月日	名称	場所	概要・反響など	参加人数
2018/02/18	分子ロボット ELSI/RRI 洞察ワー クショップ（第5回 分子ロボット倫理研 究会）	東京工業大学田 町CIC	2017年度実施した企画 調査の内容を共有する とともに、先行事例、 また行政の立場からの ELSI 論点の俯瞰を行 い、分子ロボ ELSI/RRI に関する洞察 WS を行 った。（本 WS は、小長 谷 PJ が得た追加配賦 資金によって実施）	約 40 人
2018/05/22	Martin Bauer 教授 講演会	早稲田大学	科学技術社会論とメデ ィア分野についての 権威である Bauer 教授 に、最新の著作を中心 に講演いただいた。	約 30 人
2018/10/22 - 2018/10/24	分子ロボット ELSI/RRI 洞察国際 シンポジウム（国際 シンポ@CBI 学会）	タワーホール船 堀	分子ロボ ELSI/RRI に ついて議論を行う国際 シンポを行った。 （本 WS は、小長谷 PJ が得た追加配賦資金に よって実施）	約 30 人
2018/10/24	分子ロボット ELSI/RRI 洞察ワー クショップ（ランチ ョンセミナー@CBI 学会）	タワーホール船 堀	分子ロボ ELSI/RRI に 関する洞察 WS をラン チョンセミナーの形で 行い、当該プロジェク ト連携の周知と成果ア ピールを行った。 （本 WS は、小長谷 PJ が得た追加配賦資金に よって実施）	約 60 人

2019/03/14	分子ロボット ELSI/RRI 洞察ワー クショップ (@第2回分子ロボ 年次研究大会)	東京工業大学大 岡山キャンパス	分子ロボティクス分野 に関わる ELSI の講演 をプロジェクト協力メ ンバーである吉澤が行 うと共に、分子ロボ倫 理原則に関わる議論を 深めた。(小長谷 PJ 主 催)	約 100 人
2019/3/20	<i>Responsible Research and Innovation in the UK and Japan First Workshop in Edinburgh</i>	The University of Edinburgh, March 20, 2019.	国際ワークショップに おいて分子ロボット分 野ならびにその隣接領 域の ELSI ならびに RRI に関する発表を行った 上で、今後の共同研究 に関わる議論を行った	約 15 人
2019/09/17	Topic Modeling A to Z	成城大学	LSE の Dr. Ahmet Suerdem を招き、社会 技術的想像に関する分 析アプローチとしてト ピックモデリングを実 習形式で学び・議論す るワークショップを行 った。	約 30 人
2019/10/23	CBI 年次大会 分子 ロボット倫理シンポ ジウム 2019 (市民 講座) 環境対策における 分子ロボットの倫理 問題について	東京都江戸川区 タワーホール船 堀 小ホール (5 F)	分子ロボット技術の環 境・農業分野利用に関 するシンポを行い、そ のような新しい技術活 用に関わる ELSI/RRI 議題に関する議論を行 った。 (小長谷 PJ 主催)	約 30 人
2019/10/30	Oslo Met Workshop on the Ethics of Molecular Robotics	ノルウェー・オ スロ都市大学	分子ロボット分野なら びにその隣接領域の ELSI ならびに RRI に関 する国際ワークショッ	約 15 人

			プを行い、ヨーロッパの研究者らとのネットワーク活動ならびに成果のアピールを行った。	
2020/7/2	大阪大学社会技術共創研究センターキックオフセミナー	オンライン開催	発表内に置いて、分子ロボット分野ならびにその隣接領域の ELSI ならびに RRI に関する研究を紹介した	約 150 人
2020/10/24	分子ロボ対話①	オンライン開催	分子ロボ市民対話の実において、ネットワーキングと設計に関わった（小長谷 PJ・小宮 PJ 主催）	約 15 人
2020/10/25	分子ロボ対話②	オンライン開催	分子ロボ市民対話の実において、ネットワーキングと設計に関わった（小長谷 PJ・小宮 PJ 主催）	約 15 人
2020/11/8	分子ロボット倫理シンポジウム 2020	オンライン開催	企画内容に協力・参加（小長谷 PJ 主催）	約 30 人
2020/11/9	分子ロボット研究会年次大会 倫理ポスターセッション	オンライン開催	分子ロボット倫理に関する協力機関として参加（小長谷 PJ 主催）	約 30 人
2021/1/25	分子ロボ対話③	オンライン開催	企画内容に協力・参加（小長谷 PJ・小宮 PJ 主催）	約 15 人
2021/2/4	分子ロボ対話④	オンライン開催	企画内容に協力・参加（小長谷 PJ・小宮 PJ 主催）	約 15 人
2021/2/10	分子ロボ対話⑤	オンライン開催	企画内容に協力・参加（小長谷 PJ・小宮 PJ 主催）	約 15 人

6-1-2. 書籍、DVD など論文以外に発行したもの

<書籍>

1. 標葉隆馬. (2020) 『責任ある科学技術ガバナンス概論』ナカニシヤ出版.
2. 標葉隆馬. (2019) 「分子ロボティクスを巡る ELSI を考えるために」村田智 (編) 『分子ロボティクス概論 ～分子のデザインでシステムをつくる』CBI 学会出版: 283-291.

6-1-3. ウェブメディア開設・運営

ELSI ノート (TA ノート)

1. 標葉隆馬, 田中幹人, 吉澤剛, 小長谷明彦. (2018) 『分子ロボティクス研究の現状と ELSI に関する検討: 今後のテクノロジーアセスメントに向けて』https://elsi.osaka-u.ac.jp/system/wp-content/uploads/2020/04/20041801_ELSI_NOTE_01.pdf (添付資料 1)
2. 河村賢, 標葉隆馬. (2018) 『萌芽的科学技術をめぐるデュアルユース問題を考えるために』https://elsi.osaka-u.ac.jp/system/wp-content/uploads/2020/04/20041801_ELSI_NOTE_02.pdf (添付資料 2)
3. 標葉隆馬. 『BioMOD における研究公正の観点を考慮した評価スキームについて』(添付資料 3)
4. 桜木真理子. (2020) 『生物・医学研究における国内外の市民科学事例に関する文献調査』https://elsi.osaka-u.ac.jp/system/wp-content/uploads/2020/10/ELSI_NOTE_05_02_2020_201023.pdf (添付資料 5)
5. 石田柊. (2020) 『神経科学・脳科学をめぐる ELSI 的視点—潜在的バイアスにかかわる道徳的諸問題に注目して』https://elsi.osaka-u.ac.jp/system/wp-content/uploads/2020/10/ELSI_NOTE_06_2020_201028.pdf (添付資料 6)
6. 村瀬泰菜. (2020) 『神経科学分野に関する米国大統領生命倫理委員会報告書の概要』https://elsi.osaka-u.ac.jp/system/wp-content/uploads/2020/11/ELSI_NOTE_07_2020_201116.pdf (添付資料 7)

<現在作成中・公開準備中の ELSI ノート>

- 桜木真理子, 森下翔, 河村賢 『合成生物学分野に関する米国大統領生命倫理委員会報告書の概要』
- 村瀬泰菜 『日本における脳神経倫理研究に関するシステムチック・レビュー (仮)』
- 小泉志保 『米国 BRAIN イニシアチブならびに欧州委員会 Human Brain Program における ELSI 研究プログラム (仮)』
- 木村綾奈 『英国王立協会 iHuman 報告書の概要について (仮)』
- 森下翔, 河村賢, 標葉隆馬. 『市民対話論点に即した分子ロボティクス分野の ELSI 俯瞰報告 (仮)』

<その他>

標葉隆馬「先端研究の社会的課題を見出す」<https://hite-media.jp/journal/62/>

6-1-4. 学会以外のシンポジウムなどでの招へい講演 など

- 標葉隆馬. パネルディスカッション登壇、JST/RISTEX「人と情報のエコシステム」研究開発領域シンポジウム「人と AI が共進化する社会のデザイン～人文・社会科学の自然科学への関与」2018年3月14日.

6-2. 論文発表

6-2-1. 査読付き (4 件)

・国内誌 (2 件)

1. 片岡雅知, 河村賢. 「デュアルユース研究の何が問題なのか—期待価値アプローチを作動させる」『年報 科学・技術・社会』30 (accept in press).
2. 吉永大祐, 小幡哲士, 田中幹人. (2017) 「現在のメディア空間における「人工知能」の語られ方」『人工知能』32: 943-948. ※紙幅の関係により論文内でファンディングへの言及がなされていないものの、2016年度企画調査ならびに本PJの継続的研究の成果の一環である。)

・国際誌 (2 件)

3. Ken Kawamura, Daisuke Yoshinaga, Shishin Kawamoto, Mikihiro Tanaka, Ryuma Shineha. (2021) “Exploring the Contexts of ELSI and RRI in Japan: Case Studies in Dual-Use, Regenerative Medicine, and Nanotechnology.” In Tsuyoshi Matsuda et al. (eds) *Risks and the Regulation of New Technologies*, Springer: 271-290.
4. Go Yoshizawa, Rinie van Est, Daisuke Yoshinaga, Mikihiro Tanaka, Ryuma Shineha, Akihiko Konagaya. (2018) “Responsible innovation in molecular robotics in Japan.” *Chem-Bio Informatics Journal*, 18: 164-172.

<投稿準備中>

Ken Komiya, Naoto Kawahara, Ryuma Shineha. “Practice of Responsible Research and Innovation in the Formulation and Revision of Ethical Principles of Molecular Robotics in Japan” *SN Applied Sciences* 投稿準備中.

6-2-2. 査読なし (0 件)

特に該当なし

6-3. 口頭発表（国際学会発表及び主要な国内学会発表）

6-3-1. 招待講演（国内会議7件、国際会議0件）

- (1) 標葉隆馬（成城大学）「科学技術社会論とリスク研究—再生医療分野の研究事例を中心に」日本保険学会・日本リスク研究学会 2017 連携大会、企画セッション『科学技術社会論とリスク学を繋ぐ』, 2017 年 10 月 29 日, 滋賀大学彦根キャンパス. ※CoRTTA プロジェクトの紹介を発表内で行った.
- (2) 吉澤剛（オスロ都市大学）「分子ロボティクスの倫理と社会」人工知能学会合同研究会・第64回分子生物情報研究会（SIGMBI）『分子ロボティクスの今後の展望について』, 2017 年11月25日, 慶應義塾大学.
- (3) 田中幹人（早稲田大学）「再生医療報道の『楽観傾向』がもたらすリスク」日本再生医療学会, 2018年3月23日, パシフィコ横浜.
- (4) 田中幹人「現代のメディア空間における科学技術の議論」2018年3月19日, 国立環境研究所.
- (5) 標葉隆馬（成城大学）・松田毅（神戸大学）・藤木篤（神戸市看護大学）「責任ある研究とイノベーションとは何か——科学技術社会論と応用哲学の観点から考える——」日本哲学会、2018 年 5 月 19 日, 神戸大学.
- (6) 標葉隆馬（成城大学）「萌芽的科学技術の ELSI を考えるということ—実践とその課題」2019 年度第 32 回日本リスク学会年次大会、企画セッション『「ELSI（倫理的法的社会的課題）とは何か：スコープ・リスク評価法・ガバナンス』、2019 年 11 月, 東京工業大学.
- (7) 標葉隆馬（成城大学）「萌芽的科学技術を巡る責任ある研究・イノベーションの実現に向けたアーキテクチャの構築試行」メタ科学技術研究プロジェクト—方法・倫理・政策の総合的研究第 38 回メタ科学技術研究ワークショップ, 2019 年 7 月, 神戸大学.

6-3-2. 口頭発表（国内会議10件、国際会議8件）

- (1) 田中幹人（早稲田大学）「ハイブリッド・メディア環境における科学専門知」第90回日本社会学会大会, 2017年11月5日, 東京大学本郷キャンパス.
- (2) 小幡哲士, 吉永大祐（早稲田大学）, 田中幹人（早稲田大学）「メディア空間における『人工知能』の語られ方」科学技術社会論学会第16回年次研究学会, 2017年11月25日, 九州大学馬出キャンパス.
- (3) 洪乃文, 田中幹人（早稲田大学）「日本におけるHPVワクチンの新聞報道分析」科学技術社会論学会第16回年次研究学会, 2017年11月25日, 九州大学馬出キャンパス.
- (4) Watanabe, K. & Tanaka, M. (Waseda University) “Do a few bad comments ruin the discussion?: Analysis of dynamics and patterns of online debates using machine learning.” In: *Beyond Hate & Fear : How Do Asia and Europe Deal with Hate Speech?*, Jan. 17-18, Ritsumeikan University.
- (5) 標葉隆馬（成城大学）, 河村賢（成城大学）, 吉永大祐（早稲田大学）, 吉澤剛（オス

- ロ都市大学), 田中幹人 (早稲田大学)「萌芽的科学技术を巡るリアルタイム・テクノロジーアセスメントとその課題」科学社会学会、東京電機大学、2018年7月7日.
- (6) 河村賢 (成城大学), 吉永大祐 (早稲田大学), 吉澤剛 (オスロ都市大学)・田中幹人 (早稲田大学)・標葉隆馬 (成城大学)「萌芽的科学技术におけるデュアルユース問題とバウンダリーワーク」科学社会学会、東京電機大学、2018年7月7日.
- (7) Shineha, R. (Seijo University), ELSI without RRI Perspectives: Cases of Japanese Biological Societies, Annual Meeting of Society for Social Studies of Science, International Convention Center Sydney, September 1, 2018.
- (8) Kawamura, K. (Seijo University), Taming the Dual Use Concern: A Case Study of a Molecular Robotics Laboratory in Japan, Annual Meeting of Society for Social Studies of Science, International Convention Center Sydney, September 1, 2018.
- (9) Yoshinaga, D. (Waseda University) and Tanaka, M.(Waseda University), Imaginaries of Emerging Technologies on Social Media: An Empirical Analysis, Annual Meeting of Society for Social Studies of Science, International Convention Center Sydney, September 1, 2018.
- (10) 標葉隆馬 (成城大学), 河村賢 (成城大学), 吉永大祐 (早稲田大学), 吉澤剛 (オスロ都市大学), 田中幹人 (早稲田大学)「萌芽的科学技术のためのリアルタイム・テクノロジーアセスメントの試み」研究イノベーション学会、東京大学、2018年10月28日.
- (11) 標葉隆馬 (成城大学)「萌芽的科学技术を巡るリアルタイム・テクノロジーアセスメントの試み」科学技術社会論学会、成城大学、2018年12月8日.
- (12) 河村賢 (成城大学)「萌芽的科学技术のデュアルユースをめぐる科学者のバウンダリーワーク——ELSI 概念の再検討に向けて——」科学技術社会論学会、成城大学、2018年12月8日.
- (13) 吉永大祐 (早稲田大学), 田中幹人 (早稲田大学)「萌芽的科学技术に対するメディア反応」科学技術社会論学会、成城大学、2018年12月8日.
- (14) Shineha, R. (Seijo University), A Trial for Building Co-creation of Real-time Technology Assessment (CoRTTA) for RRI, *Developing “Alternative Practices” for Responsible Research and Innovation in the UK and Japan First Workshop in Edinburgh*, the University of Edinburgh, March 20, 2019.
- (15) Kawamura, K. (Seijo University), Boundary Work of Risk: A Case Study on Molecular Robotics and Its Adjacent Field, *Developing “Alternative Practices” for Responsible Research and Innovation in the UK and Japan First Workshop in Edinburgh*, the University of Edinburgh, March 20, 2019.
- (16) Ryuma Shineha, Ken Kawamura, Daisuke Yoshinaga, Go Yoshizawa, Mikihiro Tanaka. “Real-Time Technology Assessment of Emerging Science and Technology: A Trial for Responsible Research and Innovation”. *SOCIETY FOR SOCIAL STUDIES OF SCIENCE (4S) ANNUAL*

MEETING 2019, September 2019, NEW ORLEANS, USA.

- (17) Ken Kawamura, Daisuke Yoshinaga, Go Yoshizawa, Mikihito Tanaka, Ryuma Shineha. “Boundary Work of Risk: A Comparative Study on Molecular Robotics and Synthetic Biology”. *SOCIETY FOR SOCIAL STUDIES OF SCIENCE (4S) ANNUAL MEETING 2019*, September 2019, NEW ORLEANS, USA.
- (18) 河村賢 (大阪大学) 「科学者はデュアルユース・リスクをどのように捉えているのか——分子ロボット工学者たちの語りに着目して」 第 93 回日本社会学会大会、オンライン開催、2020 年 10 月 31 日。

6-3-3. ポスター発表 (国内会議 3 件、国際会議 1 件)

- (1) Shineha, R. (Seijo University). “Co-Creation and Communication for Real-Time Technology Assessment (CoRTTA) on Molecular Robotics,” The Chem-Bio Informatics Society Annual Meeting 2018, Tower Hall Funabori, October 10, 2018.
- (2) Kawamura, K. (Seijo University). “Boundary Work of Risk: A Case Study on a Molecular Robotics Laboratory in Japan, The Chem-Bio Informatics Society Annual Meeting 2018,” Tower Hall Funabori, October 10, 2018.
- (3) Shineha, R., Yoshinagam D., Tanaka, M. (2019) “Media analysis of emerging sciences and technologies in Japan-implications for Molecular Robotics” The Chem-Bio Informatics Society Annual Meeting 2019,” Tower Hall Funabori, October 4, 2019.
- (4) Mikihito Tanaka, Ken Kawamura, Daisuke Yoshinaga, Go Yoshizawa, Ryuma Shineha. “A Trial of Communication Platform for Co-Creation of Social Agendas Concerning Emerging Science and Technology” in Making and Doing Session. *SOCIETY FOR SOCIAL STUDIES OF SCIENCE (4S) ANNUAL MEETING 2019*, September 2019, NEW ORLEANS, USA.

6-4. 新聞報道・投稿、受賞など

特に該当なし

6-4-1. 新聞報道・投稿

特に該当なし

6-4-2. 受賞

特に該当なし

6-4-3. その他

<本プロジェクトに関連した新規展開プロジェクト>

- 公益財団法人トヨタ財団 特定課題プログラム『先端技術と共創する新たな人間社会』 「分子ロボットロードマップ構想に向けた分野間・国際間共同研究」(代表: 標葉隆馬)
- JST-RISTEX 『科学技術の倫理的・法制度的・社会的課題 (ELSI) への包括的実践研究

開発プログラム』「萌芽的科学技术をめぐる RRI アセスメントの体系化と実装」(代表:
標葉隆馬)

- JST-RISTEX 『科学技術の倫理的・法制度的・社会的課題 (ELSI) への包括的実践研究
開発プログラム』に採択された「分子ロボット技術の社会実装に関する RRI コミュニ
ケーション実践の企画調査」(代表:小宮健、本 PJ メンバーが協力参加)

6-5. 特許出願

6-5-1. 国内出願 (0 件)

特に該当なし

6-5-2. 海外出願 (0 件)

特に該当なし