

戦略的創造研究推進事業（社会技術研究開発）

2021(令和3)年度

研究開発実施報告書

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

研究開発プロジェクト

「研究者の自治に基づく分子ロボット技術の

R R I 実践モデルの構築」

Development of an RRI Practice Model for Molecular Robotics
Premised on Researchers Autonomy

2022(令和4)年5月31日

研究開発期間

(2021(令和3)年10月1日～2025(令和7)年3月31日(予定))

研究代表者／Principal Investigator

小宮 健

国立研究開発法人海洋研究開発機構

超先鋭研究開発部門 研究員

KOMIYA, Ken

Researcher (II), Institute for Extra-cutting-edge Science and Technology
Avant-garde Research (X-star), Japan Agency for Marine-Earth Science &
Technology (JAMSTEC)

研究者の自治に基づく分子ロボット技術のRRI実践モデルの構築

■概要：

本プロジェクトは、生体分子で構成された生物と同じ原理で駆動する「分子ロボット」の研究開発を行う研究者コミュニティ自らが中心となって、多様なステークホルダーとの上流からの対話を実践し、より善い社会実装に必要な条件やプロセスを明らかにする。実践を通じて、自然科学研究者と人文・社会科学研究者の協働により実現する、責任ある研究・イノベーション（RRI）のモデルを構築し、革新的科学技術が人・社会と調和しながら発展していく上で必要な新しい「研究者の自治」と「研究者自身が実施する持続的な科学コミュニケーション」による共創のあり方を提示することを目指す。分子ロボット技術のあるべき将来像を市民と共創する科学コミュニケーションの実践と高度化、分子ロボット研究のRRIガイドラインの策定、分野横断的かつ予見的なELSIの検討と具体的な研究課題の立案、という3つの活動を柱に、相互連携しながら推進し、成果を国内外に広く発信する。

■参画・協力機関：

海洋研究開発機構、恵泉女学園大学、慶應義塾大学、北海道大学、東京大学、東京工業大学、総合研究大学院大学、九州大学 など

■キーワード：

分子ロボット、対話実践、科学コミュニケーション、社会実験

Development of an RRI Practice Model for Molecular Robotics Premised on Researchers Autonomy

■Summary:

The current project conducts the following ethical and social research in together with a research community of molecular robots whose working principle is the same as living organisms composed of biomolecules: (a) practices of dialogue with diverse stakeholders from upstream; and (b) clarification of the conditions and processes necessary to obtain better understanding and acceptance by society. The project aims to develop a new model of co-creation between natural science researchers and humanities and social science researchers by means of the dialogue practice premised on "researchers autonomy" and "sustainable science communication conducted by researchers themselves" from the viewpoint of Responsible Research and Innovation (RRI), for contributing to the desirable growth of innovative science and technology in harmony with citizens and society. It will promote the following three activities in expectation of their synergy effects: (1) practice and advancement of science communication to co-create and share the ideal future image of molecular robots with citizens; (2) formulation of RRI guidelines for molecular robot researches; and (3) examination of cross-disciplinary and predictive ELSI and its application to concrete research topics. The results will be widely disseminated both domestically and internationally.

■Joint R&D Organizations:

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Keisen University, Keio University, Hokkaido University, The University of Tokyo, Tokyo Institute of Technology, The Graduate University for Advanced Studies, Kyushu University, etc.

■Key words:

Molecular Robot, Dialogue Practice, Science Communication, Social Experimentation

1. プロジェクトの達成目標

本研究における最終的な目標は、人・社会と調和した分子ロボット技術のより善い社会実装を実現するために、責任ある研究・イノベーション (RRI) を目指した市民とのコミュニケーションを基盤とする、自然科学研究者と人文・社会科学研究者による実践的協業モデルを模索し、革新的科学技術が社会に馴染むための新しい「研究者の自治」と「研究者自身が実施する持続的な科学コミュニケーション」による共創の在り方を提示することである。そのため、本プロジェクトを通じて分子ロボット技術の農工業応用を中心的な事例としながら、研究開発当初からの地域ステークホルダーとの対話と共創のためのフレームワークの開発と実践、RRI の観点から分子ロボットの基礎・応用研究を推進するためのガイドラインの策定、および分子ロボットのある未来の社会像を市民と共創するための持続的な科学コミュニケーションの実践と情報通信技術を活用したコミュニケーション活動の高度化に取り組む。これらの活動のなかで技術開発を行う研究者が主体的に市民と対話し、その過程において人文・社会科学の研究者と密に連携して、真に社会に資するイノベーション創出に必須である倫理的・法的・社会的課題 (ELSI) の分析を行い、それを RRI の観点から分子ロボットの研究者コミュニティにフィードバックするというサイクルを構築する。分子ロボットを題材として科学技術の基礎研究から社会実装までが、人・社会と調和しながら進展していくモデルケースを創出し、分子ロボット技術の RRI への取り組みに関する情報を国内外に広く発信する。

2. 研究開発実施内容・成果の概要

項目1：分子ロボット技術のあるべき将来像を市民と共創する科学コミュニケーションの実践と高度化

(A) 分子ロボットの農工業応用を想定した市民対話実践

- 2020年度の企画調査で行った、分子ロボット研究者と市民との対話ワークショップで得た知見を整理し、研究者が市民対話を実践する際に役立つ対話の要点集を作成した。
- ステークホルダーの中でも意見が分かれるようなテーマについて議論を深める準備として、ゲノム編集機能を備えた分子ロボットの農業応用を念頭にした農業関係者との対話ワークショップを開催した。

(B) 科学館等との協働による持続的な科学コミュニケーションの実践

- 目に見えないサイズのロボットが動作する分子ロボット技術のイメージを伝え、より善い将来像の共創と ELSI の論点抽出を行う対話のための展示用ボードを作成し、日本科学未来館において「オープンラボ」の試行会を10月と2月の二回(計4日間)にわたって実施した。2022年度に実施する本調査に向けて、科学館コミュニケータ等の専門家と協働した分子ロボット将来像についての市民対話実践、および研究者が持続的に実施する科学コミュニケーションのデザインに関する知見を得た。
- 分子ロボット研究に関連する複数の学会で本プロジェクトに関するセッションを開催し、知見を分子ロボット研究者にフィードバックするとともに、アートなどの幅広い分野と交流して議論を行った。
- 情報通信技術を活用した科学コミュニケーション活動の高度化の一環として、分子ロボットの部品となるDNAをVR上で表示するデモシステムを開発した。

項目2：RRIの観点から分子ロボット研究を推進するためのガイドラインの策定

- 分子ロボットの基礎研究ガイドラインおよび応用研究ガイドラインの策定の一環として、分子ロボット研究者、倫理研究者、医療倫理研究者からなる分子ロボット倫理研究会をCBI研究機構先端分野 ELSI 研究所に設置し、2022年3月11日にキックオフ研究会を開催した。

項目3：分野横断的かつ予見的な ELSI の検討とそれを踏まえた具体的な研究課題の立案

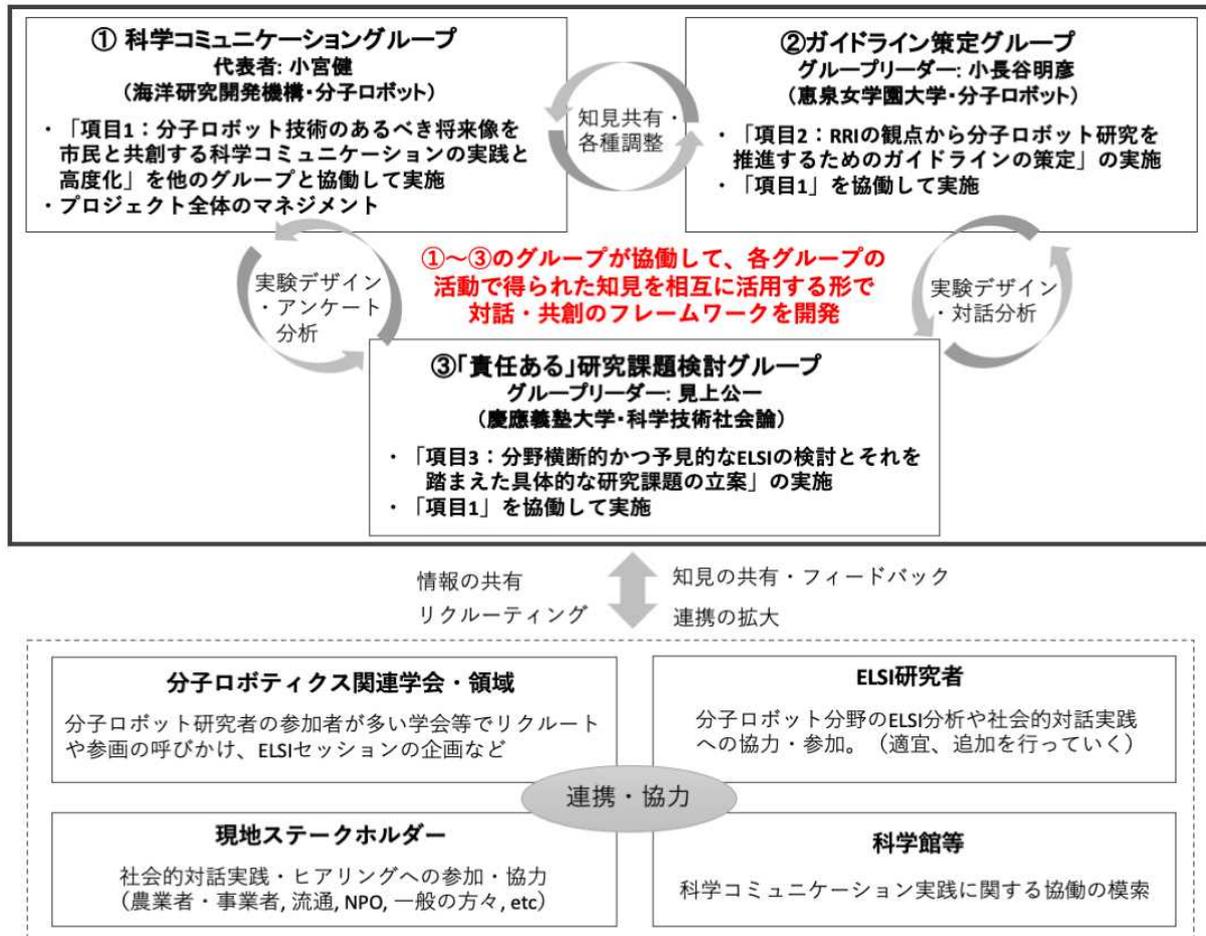
(A) 社会的対話を通じて見えてくる ELSI の議論の更なる深化

- これまでに HITE 領域のプロジェクト、および ELSI プログラムの企画調査（小宮 PJ）で行われてきた対話実践を通じて明らかになった課題を整理し、分子ロボット技術の ELSI を検討する際に過去のどのような ELSI の議論と接続して検討することが望ましいのか、また分子ロボット技術に特有の論点とは何かについて洗い出しの作業を開始した。
- 分子ロボット研究者が主体となって実施する本プロジェクトの活動の中で、考慮すべきと考えられる ELSI の論点をリストアップすることを目的として、分子ロボット研究で中心的な立場にある分子ロボット研究者4名による座談会「分子ロボットの未来」（オンライン・非公開）を開催した。
- 社会的対話の手法の一つとして、ELSI プログラムの企画調査（見上 FS）で検討を行った社会実験について、その可能性と課題についての検討結果をまとめた論文の執筆を行った。

(B) ELSI の論点を踏まえた「責任ある」研究課題の提示

- 理工系の研究者と人文・社会科学の研究者が協働し、科学的な関心と社会的な意義を両立させた RRI のモデルケースを創出するための準備として、活動を共にするパートナーとなる分子ロボット研究者4名の同意を得て、一年後に活動のあり方について見直すことを前提として定期的な懇談会を開始した。
- 「研究者の自治」を目指した本プロジェクトを通じて、人文・社会科学の研究者がどのような役割を果たすことができるかを検証し、その情報を発信していくことを前提として、理工系の研究者との定期懇談会を中心として記録を残すための方法論に関するワークショップをグループ内で開催した。

3. 研究開発実施体制



〈実施体制図〉

4. 今年度までの活動実績

4-1. 研究論文

- (1) 国際誌
- (2) 国内誌
該当なし

4-2. 総説・書籍など

- (1) 国際
 - Ken Komiya. Molecular programming (in Encyclopedia of Robotics (M. H. Ang, O. Khatib, B. Siciliano Eds.)). Springer, Berlin, Heidelberg. (in press)

(2) 国内

- 分子ロボット倫理研究会 (小長谷明彦, 小宮健, 河原直人, 河村賢, 標葉隆馬, 瀧ノ上正造, 武田浩平, 森下翔, 山村雅幸, 吉田省子 (共著)) (2022年2月1日)『分子ロボットをめぐる対話要点集 2020年度版』(eBook No.4) CBI 出版. ISBN: 978-4-910628-01-1 <https://cbi-society.org/home/pub_ebook.html>

4-3. 講演・発表

(1) 招待講演

- 小宮健(2021)「細胞を創る」を社会に接続する素朴な対話」『細胞を創る』研究会 14.0』オンライン (国内)
- 小宮健 (2021)「分子ロボット技術の継続的な RRI 実践モデルの構築」『第 5 回分子ロボティクス年次大会 分子ロボティクス倫理セッション』オンライン (国内)
- 見上公一 (2021)「ELSI から RRI へ: 真に『良い』研究を求める旅への招待」『第 5 回分子ロボティクス年次大会 分子ロボティクス倫理セッション』オンライン (国内)
- 小宮健 (2022)「分子サイバネティクスのための上流からの RRI 実践のこころみ」『発動分子科学 × 分子サイバネティクス共催ワークショップ』オンライン (国内)
- 山村雅幸 (2022)「分子エコ動態学 — 分子・細胞レベルから再構築する生態学」『第 3 回分子サイバネティクス・第 47 回分子ロボティクス定例研究会』オンライン (国内)

(2) 口頭発表

- 瀧ノ上正造 (2022)「細胞を模倣した分子ロボットを創る」『分子ロボット倫理キックオフ研究会』金沢大学サテライトプラザおよびオンライン (国内)
- 豊田太郎 (2022)「分子サイバネティクスが目指すケミカル AI の社会的イノベーションへ向けて」『分子ロボット倫理キックオフ研究会』金沢大学サテライトプラザおよびオンライン (国内)
- 小宮健 (2022)「分子ロボット技術の将来像を共創する対話と研究者の自治」『分子ロボット倫理キックオフ研究会』金沢大学サテライトプラザおよびオンライン (国内)
- 見上公一 (2022)「監督者」から「共犯者」へ」『分子ロボット倫理キックオフ研究会』金沢大学サテライトプラザおよびオンライン (国内)
- 吉田省子 (2022)「分子ロボットの農業利用を考える上での諸課題」『分子ロボット倫理キックオフ研究会』金沢大学サテライトプラザおよびオンライン (国内)
- 河原直人 (2022)「分子ロボット医薬品研究ガイドライン策定に向けて」『分子ロボット倫理キックオフ研究会』金沢大学サテライトプラザおよびオンライン (国内)
- 小野喜志雄 (2022)「臓器移植と ELSI」『分子ロボット倫理キックオフ研究会』金沢大学サテライトプラザおよびオンライン (国内)

(3) ポスター発表

該当なし

4-4. WEB・プレス発表・メディア

(1) Web サイト

- JST-RISTEX RInCA プログラム プロジェクトページ：
<https://www.jst.go.jp/ristex/rinca/projects/jpmjrx21j4.html>

(2) プレス発表

該当なし

(3) 報道・投稿

該当なし

4-5. 会議・イベント

- オープンラボ：国立研究開発法人海洋研究開発機構，日本科学未来館（企画：小宮健，標葉隆馬）（2021年10月16-17日）「分子で「ロボット」をつくる？」東京都江東区・日本科学未来館（約200名）（国内）
 - 概要：分子ロボット技術の将来像を市民と共創することで ELSI 論点を抽出するための、市民対話実践および調査研究の試行会を日本科学未来館の科学コミュニケーターと共同で実施した。
- シンポジウム：小宮健（2021年11月5日）「「細胞を創る」研究会 14.0 セッション4 「細胞を創る」を社会が拡張する-SF、バイオアート、DIYの地平から」オンライン（国内）
 - 概要：分子ロボット研究を含む細胞を創る最先端研究がもたらす倫理的課題や社会との関わりについて、一般公開のセッションとして SF 作家やアーティスト、キュレーターらと研究者が分野を超えて議論し、期間限定でオンライン配信した。
- シンポジウム：分子ロボット倫理プロジェクト「研究者の自治に基づく分子ロボット技術の RRI 実践モデルの構築」（オーガナイザー：小宮健）（2021年11月7日）「第5回分子ロボティクス年次大会 分子ロボティクス倫理セッション」オンライン（国内）
 - 概要：分子ロボット研究者と人文・社会系の研究者が継続的に分子ロボット技術の ELSI に関する意見交換を行う場として、最新の動向について議論した。
- ワークショップ：小長谷明彦（2022年1月23日）「分子ロボットの農業応用に関する対話ワークショップ」オンライン（10名）（国内）
 - 概要：農業分野における先端科学技術の応用と分子ロボット技術の位置づけについて情報提供を行い、農業者らと研究者がより善い社会実装のあり方について意見交換を行った。
- オープンラボ：国立研究開発法人海洋研究開発機構，日本科学未来館（企画：小宮健，標葉隆馬）（2022年2月19-20日）「うごく！ ふえる？ 10万分の1ミリのロボット、君ならどう使う？」東京都江東区・日本科学未来館（約200名）（国内）
 - 概要：分子ロボット技術の将来像を市民と共創することで ELSI 論点を抽出するための、市民対話実践および調査研究のデザイン改善を目的とした試行会を日本科学未来館の科学コミュニケーターと共同で実施した。
- 研究会：分子ロボット倫理研究会（オーガナイザー：小長谷明彦）（2022年3月11日）「分子ロボット倫理キックオフ研究会」金沢市・金沢大学サテライトプラザおよびオンライン（現地10名，オンライン21名）（国内）
 - 概要：農業から医療までの分子ロボット技術の応用における具体的な ELSI への対応について、幅広い分野の研究者が知見を共有して議論した。
- 座談会：見上公一（2022年3月9日）「分子ロボットの未来」オンライン（6名）（国内）
 - 概要：分子ロボット技術の ELSI 論点を抽出するため、中心的な研究者4名を招待し、分子ロボット研究の現状と将来的な可能性について議論した。

4-6. 知的財産権

該当なし

4-7. 受賞

- 小宮健（2021年12月4日）「2021年度科学技術社会論・柿内賢信記念賞 実践賞」公益財団法人倶進会，オンライン(国内)

4-8. その他

該当なし