

戦略的創造研究推進事業
(社会技術研究開発)
令和元年度研究開発実施報告書

「人と情報のエコシステム」

研究開発領域

「分子ロボットELSI研究とリアルタイム技術アセス
メント研究の共創」

小長谷 明彦

(東京工業大学情報理工学院、特任教授)

目次

1. 研究開発プロジェクト名	2
2. 研究開発実施の具体的内容	2
2-1. 研究開発目標	2
2-2. 実施内容・結果	3
2-3. 会議等の活動	6
3. 研究開発成果の活用・展開に向けた状況	7
4. 研究開発実施体制	7
5. 研究開発実施者	8
6. 研究開発成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動など	10
6-1. シンポジウム等	10
6-2. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など	10
6-3. 論文発表	11
6-4. 口頭発表（国際学会発表及び主要な国内学会発表）	11
6-5. 新聞／TV報道・投稿、受賞等	12
6-6. 知財出願	12

1. 研究開発プロジェクト名

分子ロボットELSI研究とリアルタイム技術アセスメント研究の共創

2. 研究開発実施の具体的内容

本提案は、2016年度に企画調査研究として採択された『分子ロボット技術に対する法律・倫理・経済・教育からの接近法に関する調査（代表小長谷明彦）』と『リアルタイム・テクノロジーアセスメントのための議題共創プラットフォームの試作（代表標葉隆馬）』との共創による成果を土台としている。2017年度からは、おなじく研究開発プロジェクトとして採択された『情報技術・分子ロボティクスを対象とした課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（代表標葉隆馬）』との共創を進めている。

2018年度は、前年度までの分子ロボット倫理研究会の活動を踏襲し、分子ロボット研究者、倫理研究者ならびに医療関係者による分子ロボット原則およびガイドライン策定の議論を深めると共に、追加配分子算を活用した分子ロボット倫理国際会議を企画した。また、BIOMOD国際学生コンテストを通じて、分子ロボット若手研究者ならびに学生にELSIの考え方を浸透させるための支援活動を行った。

2-1. 研究開発目標

<目標とするアウトプット>

- 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分子ロボット課題候補リストの提示
- 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）を用いた分子ロボット ELSI に関するリアルタイム技術アセスメント
- 分子ロボット研究者と橋渡し研究・倫理・規制科学の専門家によるインターネットを活用したダイナミックな分子ロボットガイドライン案の策定
- リアルタイム技術アセスメントおよびガイドライン案に関する研究会およびシンポジウムの開催
- 分子ロボット国際学生コンテストにおいて ELSI について言及した学生チームへの渡航費用などの支援と分子ロボットガイドライン普及の実践
- 上記の活動の記録と回顧的分析によるリアルタイム技術アセスメント(RTTA)方法論の評価と RTTA 研究へのフィードバック

<期待されるアウトカム>

上記アウトプット目指して研究を遂行することにより以下のアウトカムが期待される。

- 分子ロボット技術に関する ELSI の課題抽出と掘り下げ
- 分子ロボットに対する社会的認知度の向上
- 分子ロボットガイドライン案の策定
- 分子ロボット研究者における ELSI への関心の高まりと ELSI 研究の定着
- 社会に受容される分子ロボットの実用化への貢献
- 「ELSI 研究とリアルタイム技術アセスメント研究の共創」の社会技術方法論の有有用性の検証

2-2. 実施内容・結果

(1) スケジュール

実施項目	平成29年度	平成30年度	平成31年度	平成32年度
①-1: リアルタイム技術アセスメント研究との共創	原則案に関する共創	原則案に関する共創	基礎研究ガイドライン案に関する共創	分析と検証
	既存システム Slackによる情報共有	既存システム Wordpress Forumによる情報共有と議論	「研究者の議論プラットフォーム」実証テスト参加	「研究者の議論プラットフォーム」実証テスト参加
②-1: 分子ロボットガイドライン案策定	原則案策定	基礎研究ガイドライン案策定	医薬品研究ガイドライン策定	公表
	原則案策定	原則策定	基礎研究ガイドライン案策定	基礎研究ガイドライン案策定
②-2: 研究会・シンポジウム開催	研究会シンポジウム	研究会国際シンポジウム	研究会シンポジウム	国際シンポジウム
				Webinar
③-1: 国際学生コンテスト支援	実施	実施	実施	

(2) 各実施内容

今年度の到達点①：研究者の議論プラットフォームを用いた分子ロボットに関するリアルタイム技術アセスメントの部分的施行

実施項目①-1：リアルタイム技術アセスメントとの共創

実施内容

分子ロボットに対する社会的認知度を向上し、分子ロボット技術に関するELSIの議題抽出と掘り下げを実現するためには、専門家同士の議論だけでは不十分であり、社会に向けて情報を発信し、フィードバックを得るプロセスが不可欠である。このような社会からの

フィードバックを実現するための、標葉グループが開発した「研究者の議論プラットフォーム」に参加登録した。また、標葉グループと共同でノルウェーにおいて国際ワークショップを開催し、技術アセスメントの専門家と先端技術のアセスメントの課題について議論した。さらに、BIOMOD国際会議で参加チームのELSI問題について標葉グループと議論した。

今年度の到達点②：分子ロボット原則案の策定と基礎研究ガイドライン案策定への着手

実施項目②-1：分子ロボットガイドライン案策定

実施内容

分子ロボットのガイドライン案策定に関しては、概念の階層性から、分子ロボット原則案、基礎研究ガイドライン案、医薬品研究ガイドライン案と深めていく方針をとった。分子ロボット原則に関しては、分子ロボット研究者とのコンセンサス形成ができたので、日本語版をベースに英語版の策定を行った。また、分子ロボット研究を社会とのコンセンサスを得ながら推進するために必要な「分子ロボット基礎研究ガイドライン案」について、検討を開始した。

実施項目②-2：研究会・シンポジウム開催

実施内容

前年度に引き続き、分子ロボット研究者と倫理研究者ならびに医学関係者との相互理解を促進するために下記の研究会およびシンポジウムを開催した。

- ・第8回分子ロボット倫理研究会（2019年6月25日、福岡）
- ・分子ロボット倫理シンポジウム2019（2019年10月23日、東京）
- ・第69回SIGMBI: 「分子ロボティクスの今後の展望について」（2019年11月23日（土）、人工知能学会合同研究会, SICE分子ロボティクス調査研究会・JST分子ロボット倫理研究会共催）
- ・国際倫理ワークショップ（2019年10月30日、オスロ首都大学(Norway)）

なお、2020年3月16日、17日に福岡にて分子ロボット研究会倫理研究会（第3回分子ロボット年次大会と併催）を予定していたが、コロナ禍のために次年度に延期となった。

今年度の到達点③：若手分子ロボット研究者および学生へのELSI啓蒙の継続

実施項目③-1：国際学生コンテスト支援

実施内容

分子ロボットELSIやガイドラインは策定しただけでは意味がなく、分子ロボットの研究に反映されることに真の価値がある。前年度に引き続き、分子ロボットELSIの啓蒙を図るために、BIOMOD国内大会（2019年8月31日、東京）を活用し、参加する学生やメンターとなる若手研究者にELSIについて考える事業を行った。また、国際学生婚テンスとBIOMOD2019(サンフランシスコ)に参加し、各国の研究テーマのELSI課題について調査した。さらに、BIOMOD2019（サンフランシスコ）の後開催されたBoard Meetingにおいて、分担者の村田（BIOMOD Foundation, Board member）は学生に対するELSIの啓蒙に関する問題提起を行った

(3) 成果

今年度の到達点①：研究者の議論プラットフォームを用いた分子ロボットに関するリアルタイム技術アセスメントの部分的施行

実施項目①-1：リアルタイム技術アセスメントとの共創

成果：

標葉グループと共同で、ノルウェー首都大学において、技術アセスメントの専門家と境界領域の技術アセスメントに関して議論した。小長谷グループからは、分子ロボット研究の現状と分子ロボット原則案について講演し、分子ロボット倫理の現状について海外研究機関にアピールしたとともに貴重なコメントを頂いた。また、ムーンショット国際シンポジウムに招待され、先端研究ELSIの事例として分子ロボット倫理の紹介を行った。

今年度の到達点②：分子ロボット原則案の策定と基礎研究ガイドライン案策定への着手

実施項目②-1：分子ロボットガイドライン案策定

成果：

令和元年度は、前年度に作成した「分子ロボット原則案」英語版について、オスロ首都大学の技術アセスメントの研究者と議論し、作成し、社会からのフィードバックを得るためにv1.1として広く公開した。また、分子ロボティクス研究者からのフィードバックを元に、v1.2を作成し、分子ロボティクス年会において公開した。さらに、日本臨床試験学会において「分子ロボティクスを用いた分子人工膵島細胞開発の現状と倫理的課題」が優秀演題に選ばれ、分子ロボットガイドラインについてポスター発表と口頭発表を行った。

実施項目②-2：研究会・シンポジウム開催

成果：

平成30年度は、分子ロボットガイドラインに関して分子ロボット研究者との議論を図るため計測自動制御学会分子ロボティクス研究会との共催で年2回分子ロボット倫理研究会を開催した。また、分子ロボティクス年会と併催して分子ロボット倫理シンポジウムを開催した。また、分子ロボットに関する倫理およびテクノロジーアセスメントを国際的な文脈の中に位置づけるためにThe 2nd International Conference of Molecular Robot Ethics (10月9日、東京)を開催し、合成生物学、ナノバイオ技術、技術アセスメントの専門家を招聘し、分子ロボットのELSIとRRIに関する意見を求めた。さらに、同国際会議に合わせ前年度に策定した分子ロボット原則を英文で公開し、広く意見を求めた。

今年度の到達点③：若手分子ロボット研究者および学生へのELSI啓蒙の継続

実施項目③-1：国際学生コンテスト支援

成果：

令和元年度はBIOMOD2019（サンフランシスコ）の後開催されたBoard Meetingにおいて、分担者の村田（BIOMOD Foundation, Board member）は学生に対するELSIの啓

もうに関する問題提起を行った。具体的には、学生プロジェクトのアイデアが、チームメンバーのオリジナルというよりは主催研究室の研究テーマの一部であったり、すでによく知られた研究内容をトレースするだけだったりする事例が散見された。この点については他のBoard委員も問題視しており、特に研究公正の観点から何らかのアクションをすべきということで意見が一致し、実行委員長のDouglas博士よりBIOMODルールの改定、および実行委員長からのメッセージを参加者に送ることとした。

(4) 当該年度の成果の総括・次年度に向けた課題

実施項目①-1：リアルタイム技術アセスメントとの共創

国際学生コンテストBIOMODでのELSIの提言など、分子ロボット研究者と倫理研究者の協働は非常にうまく進んでいる。一方、リアルタイム技術アセスメントについてはワークショップなどの開催での議論のレベルにとどまっている。令和2年度は、標葉グループが開発する「研究者の議論プラットフォーム」が本格稼働すれば、より具体的にリアルタイム技術アセスメントを利用した共創の活動を推進できると考えている。

実施項目②-1：分子ロボットガイドライン案策定

基礎研究ガイドライン案策定については、基本方針は定まってきた。令和2年度は具体的な内容について議論を展開したい。

実施項目②-2：研究会・シンポジウム開催

コロナ禍により、研究会・シンポジウムの開催が難しい状況になってきた。令和2年度は、webinarのようなオンラインによる会合を進めてゆきたい。

実施項目③-1：国際学生コンテスト支援

国際学生コンテスト支援は学生および若手研究者のELSIに対する意識向上に大きく貢献した。また、BIOMOD国際大会においても参加チームの不公正感をなくすために開催者サイドが研究倫理を意識しはじめているので、これを機に分子ロボットELSIの重要性を世界に向けて発信したい。

2-3. 会議等の活動

年月日	名称	場所	概要
2019年1月15日	分子ロボット倫理打ち合わせ	東京工業大学田町CIC	分子ロボット倫理の研究課題の見直しと今後の進め方について、標葉グループならびに河原直人先生と協議した。
2019年11月1日	分子ロボット倫理打ち合わせ	Oslo Met	OsloMetワークショップの振り返り並びに分子ロボット倫理の研究課題の見直しと今後の進め方について、標葉グループならびに河原直人先生と協議した。

3. 研究開発成果の活用・展開に向けた状況

分子ロボット国内学生コンテストで展開した、参加学生チームのELSI活動を国際学生コンテストに広げる活動を進めている。2020年度より、ELSIに関連したBIOMODのルール改定とともに、今後のBIOMODのさらなる国際化を期して米国以外での開催を検討し、2020年度はオーストラリア、2021年度は日本で開催することがBoard Meetingで合意された。日本開催分については村田が担当し、開催地としては東京で調整することとした。また、現在はBIOMOD本大会を10月下旬～11月初旬の週末に開催しているが、我が国をはじめ学年暦の都合で参加しにくい国もあるため、2020年度から3月中旬に開催時期を移動することも合意された（2020年度は2021年3月シドニーで開催する。なお、2020年度のチーム登録については、従来通り4月に行った。）。例年開催しているBIOMOD JAPAN（国内大会）については11月の分子ロボティクス年次大会にあわせて開催する予定であるが、コロナウイルスの推移によってはオンライン開催とする可能性を残している。

4. 研究開発実施体制

分子ロボットガイドライン策定グループ（小長谷 明彦）

恵泉女学園大学人文学部

実施項目①-1：リアルタイム技術アセスメント研究との共創

本グループが中心となり、全体プロジェクトの運営・管理・調整を行う。また、標葉グループとリアルタイム技術アセスメント(RTTA)研究に関して共創する。

実施項目②-1：分子ロボットガイドライン案策定

本グループが中心となり、分子ロボットに関する原則案、基礎研究ガイドライン案、医薬品応用、農産業応用ガイドライン案の策定を行う。作成した案について、標葉グループとインターネット上で情報共有し、さらに情報発信することで分子ロボットガイドライン案に関する議論の結果をガイドライン案に反映する。

実施項目②-2：研究会およびシンポジウム開催

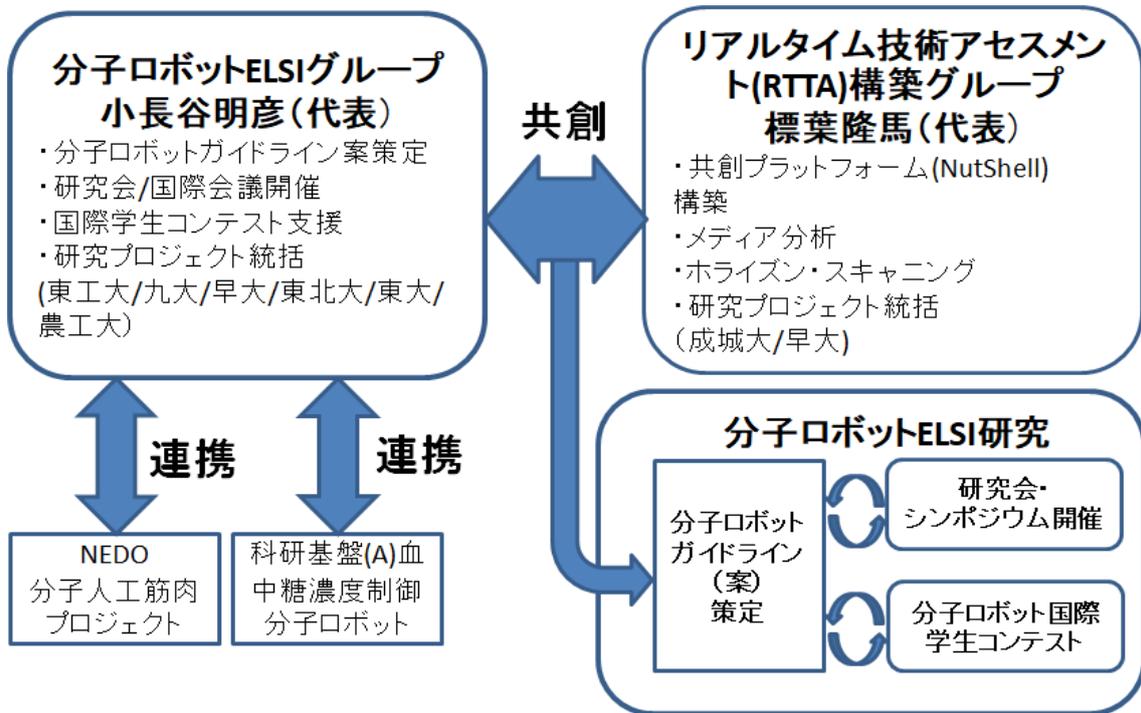
研究会を開催し、分子ロボット研究者との交流を図る。また、シンポジウムを開催し、分子ロボットガイドライン案策定の成果ならびにRRI（Responsible Research & Innovation）観点からの分子ロボティクス分野におけるアウトカム指標・インパクト指標・プロセス指標を世界に発信する。

分子ロボットELSI啓蒙グループ（村田 智）

東北大学大学院工学研究科

*実施項目③-1：国際学生コンテスト参画

分子ロボット国際学生コンテストの運営にELSIの立場から参画し、学生およびメンターとなる若手研究者に対してELSIの重要性を浸透させる。



5. 研究開発実施者

研究グループ名：分子ロボットガイドライン策定グループ

氏名	フリガナ	所属機関	所属部署	役職 (身分)
○小長谷 明彦	コナガヤ アキヒコ	恵泉女学園大学	人文学部	客員教授
山村 雅幸	ヤマムラ マサユキ	東京工業大学	情報理工学院	教授
木賀大介	キガ ダイスケ	早稲田大学	先端生命医科学センター	教授
河原 直人	カワハラ ナオト	九州大学	病院A R O次世代医療センター	特任講師
村田 智	ムラタ サトシ	東北大学	大学院工学研究科	教授

萩谷 昌己	ハギヤ マサ ミ	東京大学	大学院情報理 工学研究科	教授
瀧ノ上 正浩	タキノウエ マサヒロ	東京工業大学	情報理工学院	准教授
豊田 太郎	トヨタ タロ ウ	東京大学	大学院総合文 化研究科	准教授
川野 竜司	カワノ リュ ウジ	東京農工大学	工学研究院	准教授
小野 喜志雄	オノ キシオ	順天堂大学	国際教養学部	客員教授
小宮 健	コミヤ ケン	東京工業大学	情報理工学院	助教
佐藤佑介	サトウ ユウ スケ	東京工業大学	情報理工学院	研究員
榎本輝也	エノモト テ ルヤ	東京工業大学	情報理工学院	研究員
川又生吹	カワマタ イ ブキ	東北大学	大学院工学研 究科ロボティ クス専攻	助教

研究グループ名：分子ロボットELSI啓蒙グループ

氏名	フリガナ	所属機関	所属部署	役職 (身分)
○村田 智	ムラタ サト シ	東北大学	大学院工学研 究科	教授
小長谷 明彦	コナガヤ ア キヒコ	恵泉女学園大 学	人文学部	客員教授
阿部 純代	アベ スミヨ	東北大学	大学院工学研 究科	技術支援 員
小野 喜志雄	オノ キシオ	順天堂大学	国際教養学部	客員教授

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. シンポジウム等

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2019年 6月25日	第8回分子ロボット倫理研究会	福岡	15名	分子ロボティクス研究会との共催で原則について議論した。
2019年 10月23日	分子ロボット倫理シンポジウム	タワーホール船堀	40名	合成生物学、ナノバイオ技術、技術アセスメントの専門家を招聘し、分子ロボットのELSIとRRIに関する意見交換をした。
2019年 10月30日	Oslo Technology Assessment Workshop	オスロ首都大学	10名	サイボーグ、合成生物学、ゲノム編集などの先端領域における技術アセスメントについて、オスロ首都大学の倫理研究者と議論した。
2019年 11月23日	分子ロボット倫理研究会	慶應大学矢上キャンパス	31名	分子ロボティクスを創薬に応用する際の技術的課題ならびに倫理的課題について議論した。



1.

1. 分子ロボット倫理シンポジウム(10月23日)



2.

2.3. Oslo TA Workshop(10月30日)



6-2. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など

(1) 書籍・冊子等出版物、DVD等

特になし

(2) ウェブメディアの開設・運営

分子ロボットELSI研究とリアルタイム技術アセスメント研究の共創

(3) 学会 (6-4.参照) 以外のシンポジウム等への招聘講演実施等

- ・ BIOMOD Japan 2019, Molecular Robot Ethics: From the Viewpoint of RRI, Aug. 31, 2019, Univ. of Tokyo
- ・ International Conference on Creating Value, Knowledge Creation in the Life Science, Oct. 16, 2019, Kobe Univ.
- ・ 循環共生圏農工業帯広ワークショップ、分子ロボティクス：今後の展望と課題、2019年11月28日、帯広畜産大学
- ・ Moonshot International Symposium, Presentation/ELSI in University and Research Institution projects:A Case Study of Molecular Robotics, Dec. 18, 2019, Bellesalle Tokyo Nihonbashi.

6-3. 論文発表

(1) 査読付き (0 件)

- 国内誌 (0 件)
- ・
- 国際誌 (0 件)
- ・

(2) 査読なし (1 件)

- ・ 小長谷明彦：分子ロボット倫理：分子ロボット研究開発におけるELSIの実践と課題，CBI学会誌，第8巻，第1号，pp.3-20，(2020).
- ・

6-4. 口頭発表 (国際学会発表及び主要な国内学会発表)

(1) 招待講演 (国内会議 0 件、国際会議 0 件)

(2) 口頭発表 (国内会議 3 件、国際会議 0 件)

- ・ 小長谷明彦：分子ロボティクスの創薬応用への可能性，第58回日本生体医工学学会大会，2019年6月8日，沖縄コンベンションセンター
- ・ 小長谷明彦，河原直人他：分子ロボティクスを用いた分子人工膝島細胞開発の現状と倫理的課題，日本臨床試験学会総会，国際医療福祉大学，2020年2月15日
- ・ 小長谷明彦：分子ロボットの倫理問題：循環共生圏農工業への展開，分子ロボット倫理シンポジウム，CBI学会年会，2019年10月23日

(3) ポスター発表 (国内会議 1 件、国際会議 0 件)

- ・ KAWAHARA Naoto, KONAGAYA Akihiko, et al., Formulating R&D Guidelines for Molecular Robotics, CBI annual conference, Oct. 22-24, Towerhall Funabori, Tokyo
- ・

6-5. 新聞／TV報道・投稿、受賞等

(1) 新聞報道・投稿 (0 件)

.

(2) 受賞 (0 件)

.

(3) その他 (0 件)

.

6-6. 知財出願

(1) 国内出願 (0 件)

.

(2) 海外出願 (0 件)

.“