



萌芽的科学技术を巡るELSI/RRI議題の洞察 ー先端生命科学の事例から

標葉隆馬 (Ryuma Shineha, Ph.D)
shineha@elsi.osaka-u.ac.jp



大阪大学 社会技術共創研究センター
Research Center on Ethical, Legal and Social Issues

Osaka University
Research Center on
Ethical, Legal and
Social Issues

三つの視点から「科学技術」という人の営みを見る



大阪大学 社会技術共創研究センター
Research Center on Ethical, Legal and Social Issues

科学技術政策

(Science & Technology Policy)

- 科学技術政策
 - ✓ 日本の政策
 - ✓ 海外の政策
- 研究評価システム

科学技術と社会

(Science, Technology, & Society)

- 多様なフレーミング
 - ✓ GMO、ナノテクノロジー、再生医療、ゲノム編集、etc
- 科学技術コミュニケーション
- 科学とメディア

責任ある研究・イノベーション

(Responsible Research & Innovation)

- インパクト評価
- ELSI、TA、RTTA
- RRI
- Innovation Governance

未来に対するケアをどのように行うか？



責任ある研究・イノベーション (RRI) は「**現在における科学とイノベーションの集合的な管理を通じた未来に対するケアを意味する**」 (Stilgoe 2013)

✓ 先見性、省察性、包摂、応答可能性などの基本要素

- 倫理的・法的・社会的課題（ELSI）への対応
- 学術知の発展
- 社会課題の挑戦
- 新しい社会価値の創造
- 科学教育の充実

異なる文脈をもつ各分野・領域のさまざまなインパクトを誰が、どのように洞察するのか？

(e.g. Owen et al. 2012; von Schomberg 2013; Stilgoe & Guston 2017)

未来に対するケアをどのように行うか？



CoRTTAプロジェクト

Co-Creation and Communication for Real-Time Technology Assessment

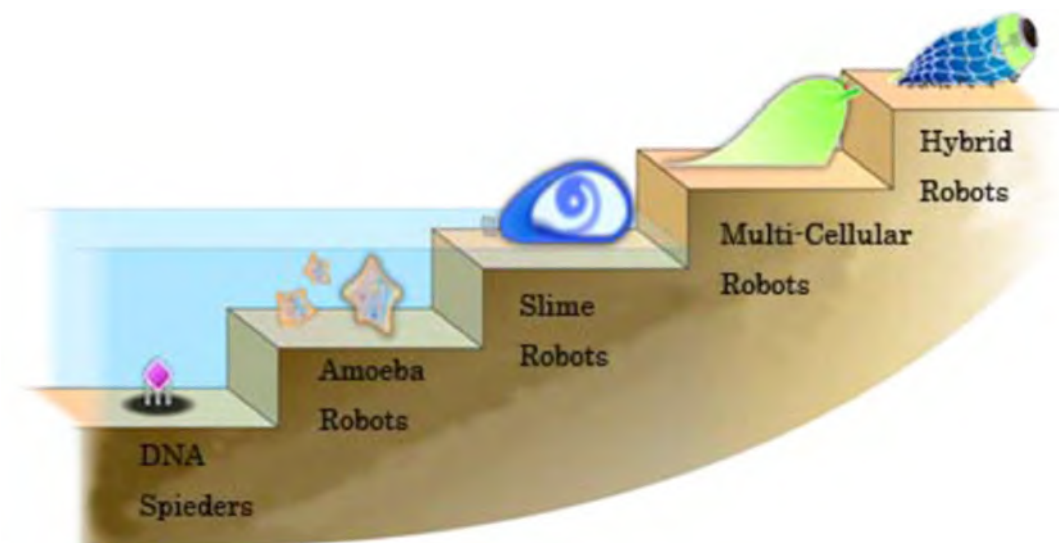
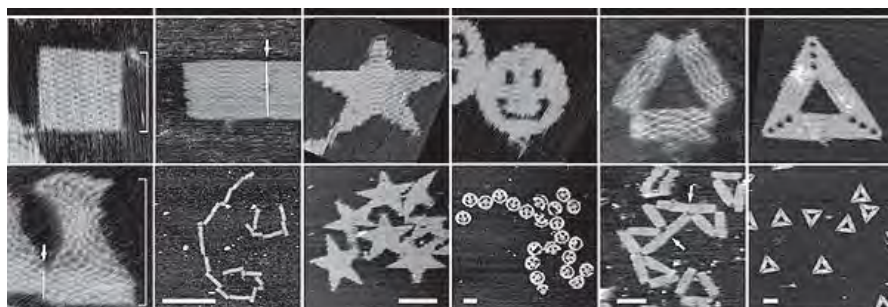
JST-RISTEX「人と情報のエコシステム」研究開発領域

『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』



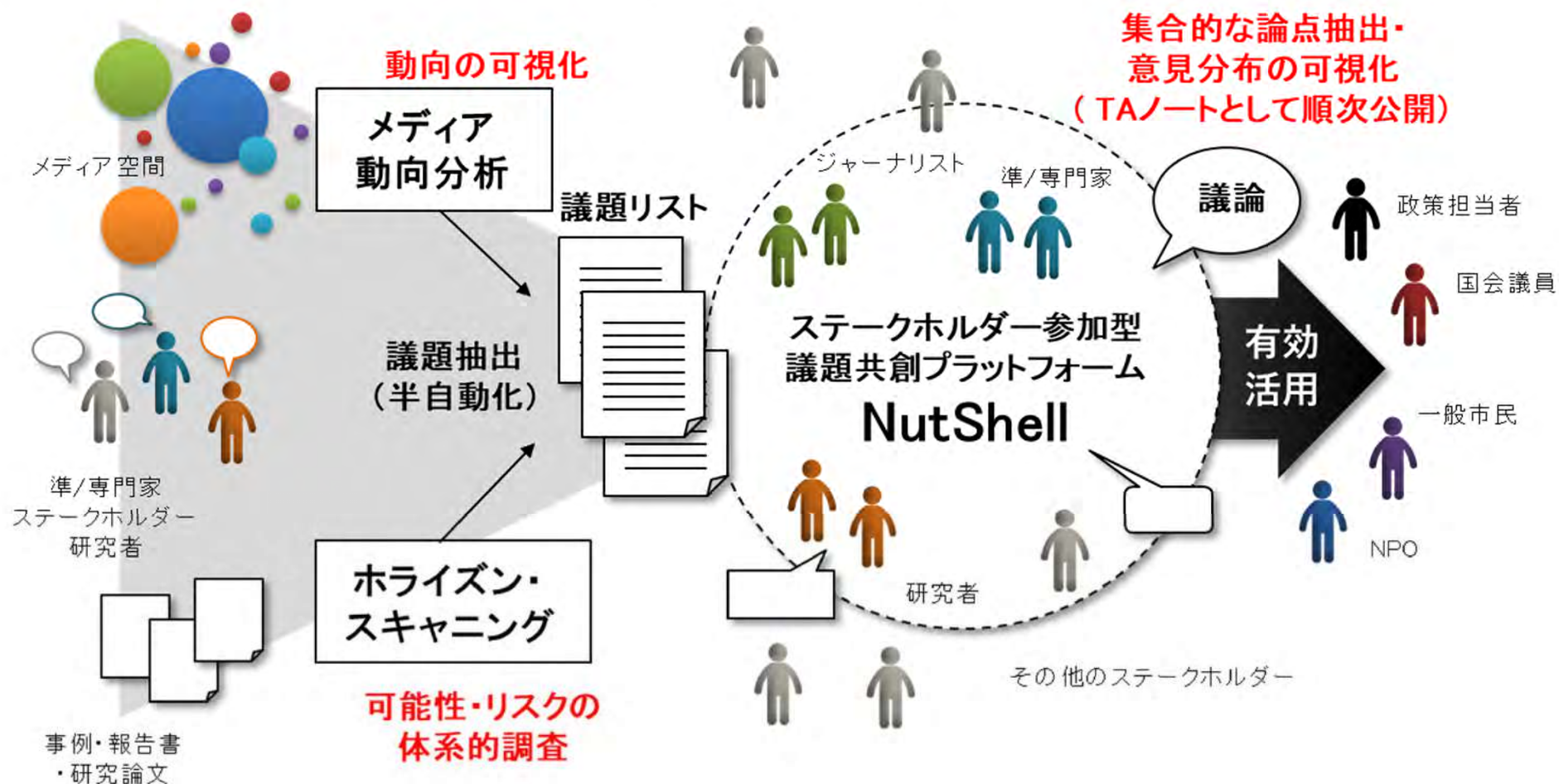
Human
Information
Technology
Ecosystem

分子ロボット技術の事例



- DNA分子コンピューティング、DNA論理回路、分子プログラミングなどの背景
- 知覚（センシング）・思考（コンピューティング）・運動（ロボティクス）というロボットを構成する三機能をDNAやRNAを素材として用いることで実現する
- 「生物ではないが生体分子から構成され自律的に動作しうる存在」

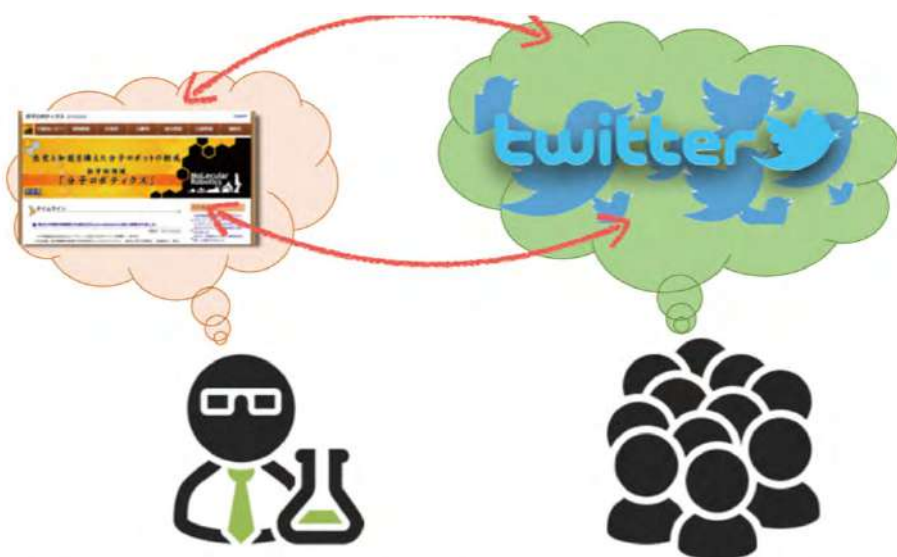
萌芽的科学に関する論点抽出と共有



萌芽的科学技術は、どのように受け止められそうか？

「社会技術的想像」が政策や技術開発に与える影響は大きい (Shiela and Kim 2009)

⇒ 国策的軌道の固定化、技術開発ロックインが起こりやすい状況を後押し e.g. 再生医療 (Mikami 2015)



...but which [terms experts used / tweet for interpretation] should we choose?

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
分子研究	561.0828	人工分子システム	40.819	研究費	18.64921
本領	366.2298	蛍光分子	35.34978	合成サービス	17.94419
塩基配列	250.5103	研究領域	34.71009	具体的	17.87368
研究者	164.8164	研究班	32.74096	アメーバ型	17.65699
二本鎖	148.3766	分子感覚	30.63927	感覚班	17.43201
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
一本鎖	123.3734	研究分野	30.05982	画像分子ロボット	16.48713
分子システム	122.9383	要素技術	29.01505	分子設計	16.19854
分子デバイス	120.9707	分子ロボット実現	27.85619	人工物	15.93713
学術領域	113.5008	分子発展	26.96599	情報処理システム	15.79289
分子反応	102.0778	エネルギー的	26.72738	化学者	15.74392
分子レベル	100.3787	学術領域研究	26.52604	研究会	15.68205
分子ロボット工学	97.43982	総括班	25.57019	研究内容	15.68205
型分子ロボット	84.87919	ナノ構造	25.04842	公募研究	15.68205
消光分子	70.69957	分子構造	24.69303	生体分子	15.50764
方法論	65.46844	アメーバ班	24.32661	分子学術領域	15.10919
人工的	61.91623	水素結合	23.5451	塩基間	14.98331
計画研究	58.14581	自己組織化	22.94649	分子モーター	14.93645
分子型分子ロボット	53.2208	人工合成	22.04541	分子研究会	14.77665
自律的	47.99707	知能班	21.25988	学術領域研究研究領域	14.76916
構造体	47.23175	反応場	21.07088	配列間	14.5938
化学反応	44.10705	相補配列	20.38853	反応速度論	14.22318
分子そのもの	43.33048	分子科学	19.817	化学反応系	14.01233
		反応速度	19.66966	研究組織	13.94354
				研究組織	13.94354
				システム化	13.55824
				生物学	13.41641
				分子ロボット構築	13.27699
				空間的	13.18698
				情報科学	12.80434
				決定論的	12.71896
				初学者	12.68846
				科学技術研究	12.49756
				設計プログラム	12.48537
				ナノロボット	12.42951
				モデル分子ロボット	12.40941
				基礎的	11.91578
				学術的	11.72507
				構造構造	11.61895
				委託合成サービス	11.54017
				画像化学	11.40108
				分子応用	11.3378
				分子情報処理システム	11.32976
				領域研究研究領域提案	11.2654
				研究人材	11.08899
				ナノテクノロジー	10.98852
				研究研究領域提案型	10.86201
				構造予測	10.66968
				自己集合	10.3923
				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]

(Thanks to works by 吉永大祐・CoRTTAプロジェクトメンバー)

⇒ ナノテクノロジー事例に近い受け止められ方？

(ナノテクノロジーをめぐる国内外の社会的議論の含意を整理・共有)

過去の知見を共有する／議論する

ELSIノート

“萌芽的な先端技術”でこれまで何が起きたのか？

過去事例とWSで得られた「語り」から今後の論点を考える

- ・ 文献調査（含、過去事例）、聞き取り、WSにおける議論などを元にELSIノートの作成
- ・ 関係する研究者への共有と意見聴取
 - ⇒当該研究者らが参照できる論点・知見の共有
 - ⇒コミュニケーションツールとして活用
- （当該分野の科学者との相互フィードバック）
- ・ メディア・行政・市民などの多様なアクターが見れる形での公開の仕方を検討



大阪大学 社会技術共創研究センター
Research Center on Ethical, Legal and Social Issues



ELSI NOTE

No. 01

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

2020年4月16日

Authors:

標葉 陸馬 成城大学 文芸学部マスメディケーション学科 准教授(2018年5月当時)
(現: 大阪大学 社会技術共創研究センター 准教授)
田中 幹人 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(2018年5月当時)
吉澤 剛 大阪大学 大学院医学系研究科 准教授(2018年5月当時)
小長谷 明彦 東京工業大学 大学院総合理工学研究科 教授(2018年5月当時)

This note should be cited as:

CoRTTA, 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」

※ 本ノートは、2018年5月に作成された科学技術振興機構(JST)社会技術研究開発センター(RISTEX)「人と機械のエコシステム(HITE)」領域委託研究プロジェクト報告書の記載である。

議題共創と熟議



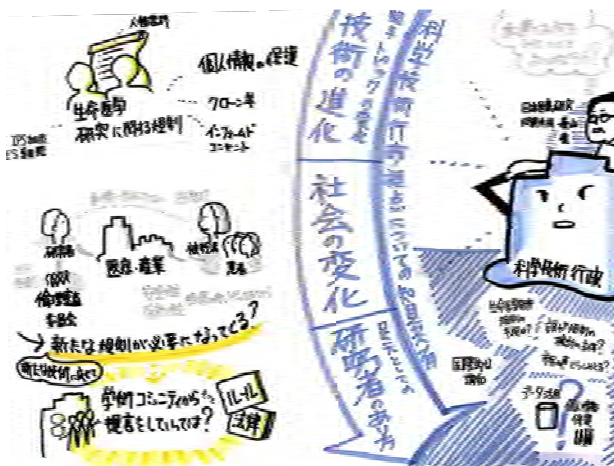
大阪大学 社会技術共創研究センター
Research Center on Ethical, Legal and Social Issues

① Informed



- 議題共創・場の設定
 - ✓ 先行知見の共有
 - ELSIノートの活用
 - ✓ 隣接事例などの参照
- 参加者のリクルーティング
- 平時からのコミュニケーション

② 可視化



- 先行知見を記録・可視化
- Free Discussionでの活用
- 疑問点や意見を随時共有

③ 論点の抽出・整理

Comment Sheet
PART 2 -A SCENARIO

グループ内でシナリオごとに番号を振ってください

No.

どちらかを選択し、未来に起こりうるシナリオを書いてください

起こってほしいことは、 OR 起こってほしくないことは、

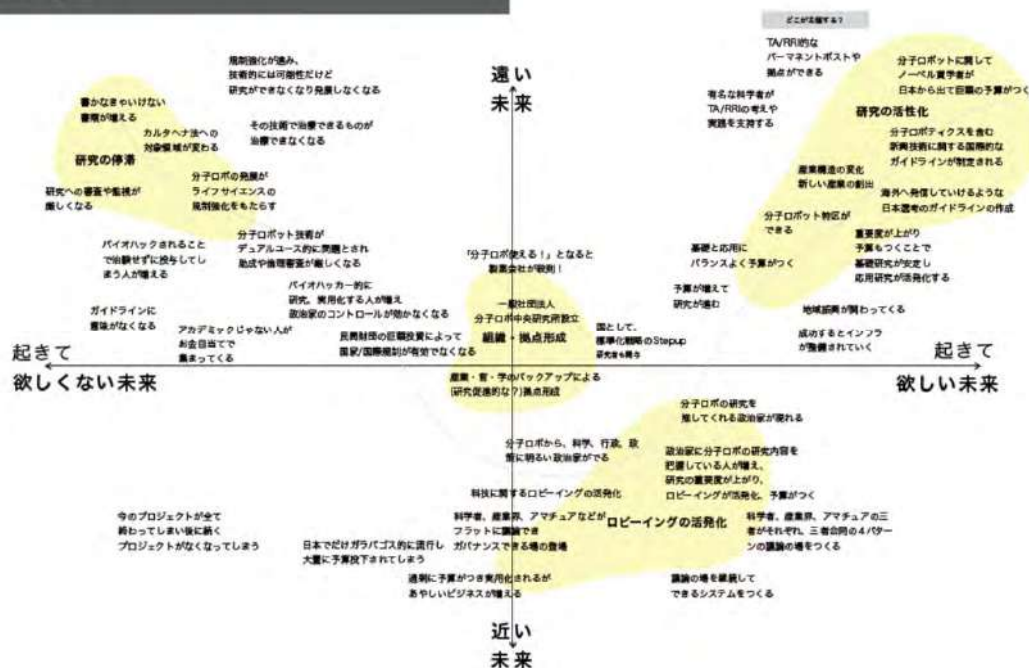
ジャンルを選択してください（複数可）

☐ 科学 ☐ 社会
☐ インノベーション ☐ 倫理
☐ 経済 ☐ 政治
☐ 文化 ☐ その他（ ）

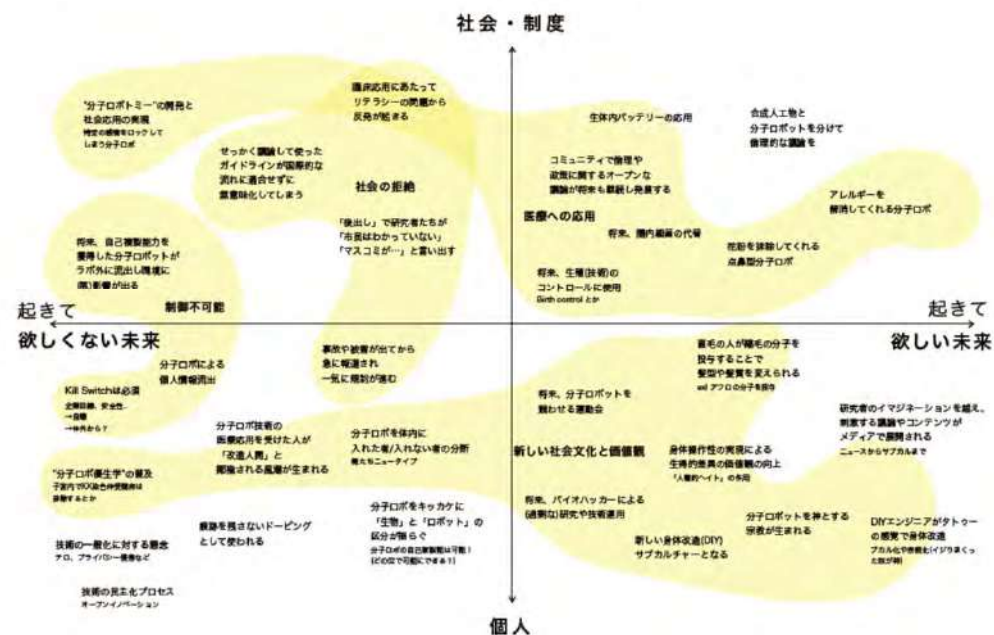
- シナリオ形成と議論
 - そこから見えてくるELSI／RRI議題

論点の可視化とシナリオ形成

Group 政治



Group 社会・文化



倫理指針の形成、コミュニティ内での共有などへの活用

WSから分子ロボット技術倫理綱領作成の協働



倫理綱領の骨格

1. リスク・ベネフィットの総合評価
2. 安全と環境への配慮
3. セキュリティとデュアルユース問題への留意
4. 説明責任と透明性の担保

協働：
九州大学・河原直人
東京工業大学・小長谷明彦



分子ロボット技術倫理綱領第1.2版 (2019年3月14日 改訂)

近年の急激な技術革新は、新しい物質・情報・生命を創造する機会をもたらすとともに、それに伴う倫理の枠組みを、社会との対話を通して確立・発展させていくことが重要な課題となっている。

我が国の分子ロボットの研究開発においては、感覚、運動、知能が重要な要素として捉えられ、それぞれの要素技術やその統合化の研究開発が進められている。分子ロボット技術により高度な人工システムの構成が実現可能になり、将来的には、情報学、工学、化学、そして、農学、医学、薬学といった幅広い分野への応用が期待されている。これまでになかったデバイスやシステムが次々と開発されており、関連する倫理的課題も多岐におよぶことが予想される。

このような背景のもと、私たちは、以下の倫理綱領を定めるとともに、分子ロボット技術に関わるすべての者にその遵守を求めるものである。

1. リスク・ベネフィットの総合評価 (Comprehensive assessment of risks and benefits)

＊分子ロボット技術に関わる者は、その技術の複雑性に鑑み、人間・環境への負担ならびに予測されるリスクと利益を総合的に評価し、もたらされる利益を最大化するだけでなく、負担とリスクを最小化するための対策を講じなければならない。

2. 安全と環境への配慮 (Consideration for safety and environment)

＊分子ロボット技術に関わる者は、分子ロボットの環境への拡散防止のための措置、安全の確保に向けた取組を行う必要がある。これは、将来世代に対する責任と配慮を含む。

3. セキュリティとデュアルユース問題への留意 (Paying attention to security and dual-use issues)

＊分子ロボット技術に関わる者は、材料や情報の適正な取り扱い、実験に関わる者の管理・監督など、輸送時の管理や情報漏洩の観点も考慮したセキュリティ対策を検討するべきである。また、デュアルユースに関する問題にも注意を払う必要がある。

4. 説明責任と透明性の担保 (Ensuring accountability and transparency)

＊分子ロボット技術に関わる者は、公共の福祉に基ざした研究開発を推進させるにあたり、研究の透明性と社会への説明責任を常に意識しなければならない。

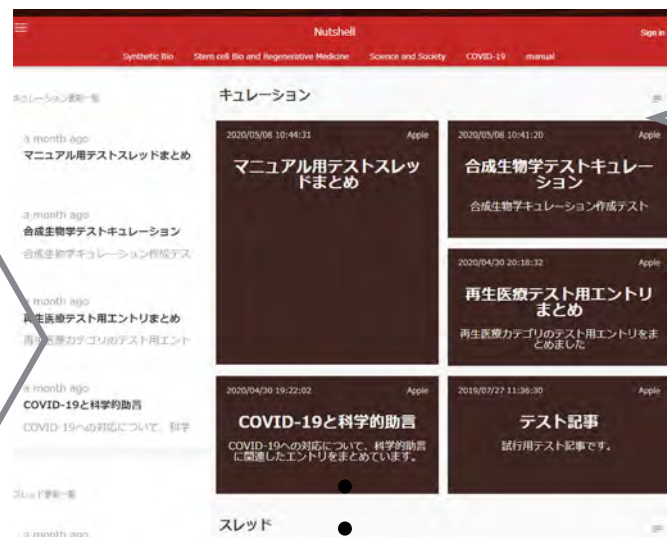
この倫理綱領は今後も必要に応じて見直ししていくものとする。

NutShell (試作中)

萌芽的議題の抽出・リスト化

- ☑ ELSI/RRI議題抽出
- ☑ 重要なデータ（論文、報告書、政策）の公表に関する話題
- ☑ 省庁からの政策的ニーズ
- ☑ 各種科学報道へのコメント

興味のあるコンテンツ・スレッドにアクセス
→関連資料・コメント投入ページに推移



- ☑ リスト化されたELSI/RRI議題のリスト提示
- ☑ 問題の背景の解説、リスクや不確実性の説明、論文、指針、公的資料へのリンク
- ☑ ELSI/RRI議題に対し、自身の専門を踏まえて意見を投稿。
- ☑ 専門家からの情報提供、コメント欄での議論を反映して「相場観」を更新していく。
→コアとなる論点の可視化

議題・資料への専門家コメント投入



- ☑ データの解釈、論文の紹介なども推奨される。
- ☑ 議論も推奨される（管理者が居るので炎上しにくい）。
- ☑ 複数軸での論点評価などの工夫（論点や議論の相場観の可視化を補助）

基本的なアプローチと作業セット



ELSI／RRI議題抽出

- ホライズン・スキャニング
- フォーサイト
- デルファイ調査
- メディア分析
- 質問紙調査
- フォーカス・グループ
- ... etc

議題共創・熟議

- 熟議の場のデザイン
- シナリオワークショップ
- コンセンサス会議
- ノウハウの可視化・洗練
- ⇒ 先行する知見の共有
- ⇒ リクルーティング
- ⇒ 持続可能なコミュニケーション

知見の公知化

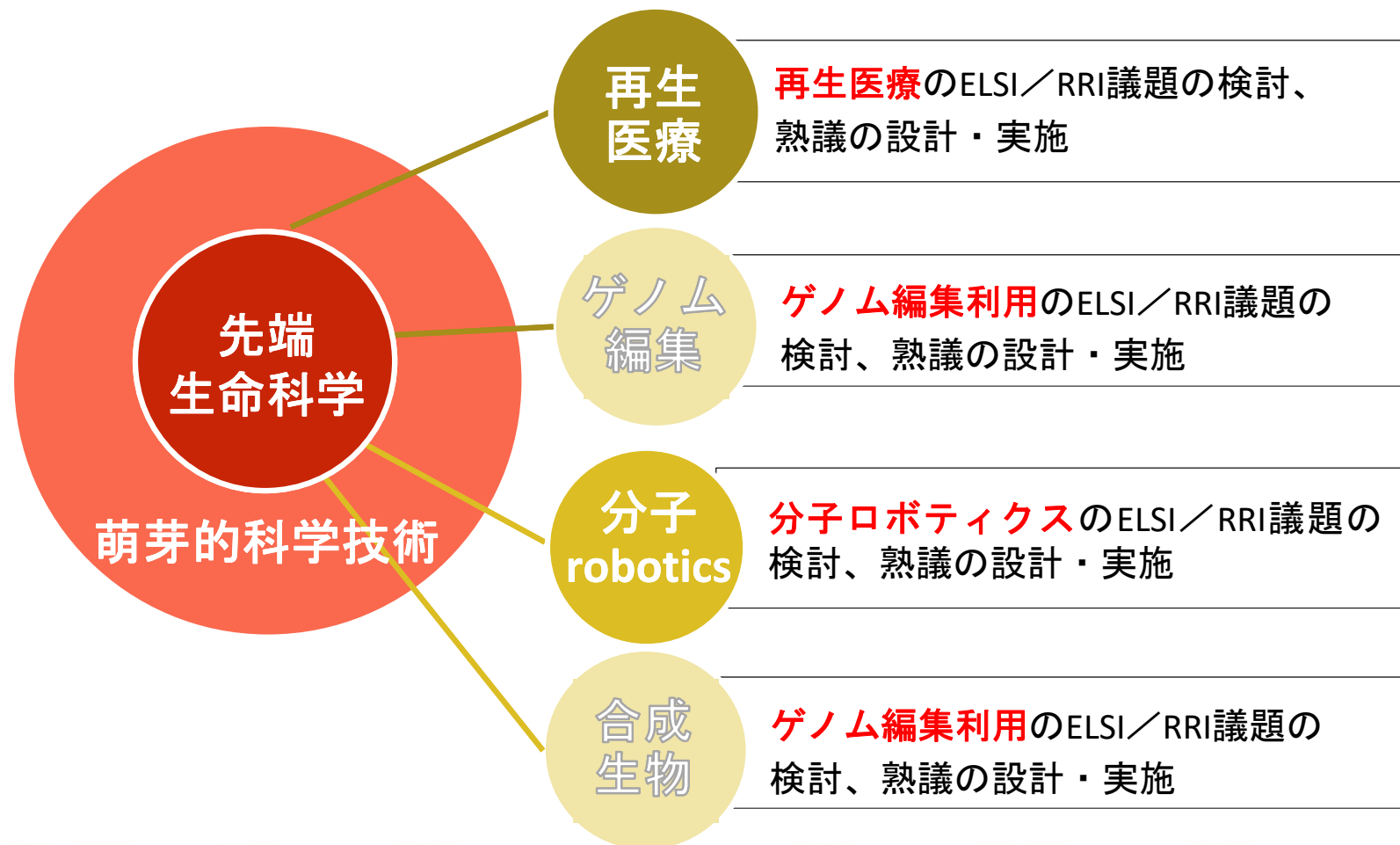
- 倫理指針などの共創
- 教育プログラムの構築
 - 教科書の作成
 - 各種企画の協働
- 共著論文の作成・公表
- 政策形成への知見提供
- 社会的対話の促進

プロジェクトの対象

➤ 複数の萌芽的科学技术分野を視野に入れた比較分析の視点を前提とする。

主要な課題

- RRIアセスメントの基本モデル構築と実装
- ELSI／RRI議題の抽出と熟議をシームレスにつないだアセスメントの実施と知見の蓄積
- 研究開発現場とのELSI／RRI議題に関する事例共有のノウハウ



より良い科学技術とイノベーションの在り方とは？



「責任ある科学技術ガバナンス」の構築という命題

- ・ 「より良い」 科学技術ガバナンスの在り方の模索
 - 基本的知見・データの整理、共有
 - 研究者と一般の人々の関心事項のズレを意識する
- ・ 多様なアクターを交えた議題共創
 - 研究者の自治の発揮の一つの在り方（アシロマ会議の先へ）
- ・ 科学技術政策・制度上の課題の明確化
- ・ 国際的な連携の在り方／次世代の育成
 - 国際的なELSI／RRI研究の拠点形成・ネットワーキング
 - プロジェクトへの若手の積極的リクルートを通じた、次世代の専門家育成、ネットワーキング拡大



『責任ある科学技術ガバナンス概論』



科学技術政策

- 国内外の科学技術政策
- 研究評価制度の構造的課題

「科学と社会」の間のコミュニケーション

- 科学コミュニケーション（歴史、現状、課題）
- 多様なフレーミングの把握（GMOなどの先行事例）
- 科学研究とメディア

ELSIからRRIへ

- ELSIを巡る議論
- 幅広い「インパクト」をどう捉え、考えるのか
- 責任ある研究・イノベーション（RRI）という実験