



Title	RRIを量子技術領域へ適用する : 政策レビュー
Author(s)	榎本, 啄杜; 長門, 裕介; 岸本, 充生
Citation	ELSI NOTE. 2024, 38, p. 1-25
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/94645
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka



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.38

2024年3月12日

RRIを量子技術領域へ適用 する：政策レビュー

Authors

榎本 啄杜	大阪大学 社会技術共創研究センター 特任研究員（常勤）（2024年3月現在）
長門 裕介	大阪大学 社会技術共創研究センター 特任助教（常勤）（2024年3月現在）
岸本 充生	大阪大学 社会技術共創研究センター センター長（2024年3月現在）

本ノートの内容は、大阪大学 社会技術共創研究センター（ELSIセンター）とPwCコンサルティング合同会社との共同研究の一環として行ったものである。

目次

1. はじめに：RRIの適用可能性.....	3
2. 国際機関による政策提言.....	3
2.1. OECD.....	4
2.2. WEF.....	5
3. 地域・国レベルの量子RRI政策.....	7
3.1. EUの動向.....	8
3.2. 各国の動向.....	10
4. おわりに：ビジネスへの展望.....	15
引用文献リスト.....	19

1. はじめに：RRI の適用可能性

新興技術が社会実装される際には、「倫理的・法的・社会的課題（Ethical, Legal and Social Issues）」（以下、ELSI）への対処が問題となる。ELSI へのアプローチは目的や動機によって複数ありうるが、その中でも、近年「責任ある研究・イノベーション（Responsible Research and Innovation）」（以下、RRI）というアプローチが注目されている。RRI においては、目指すべき社会像や価値観をまず据えたうえで、そのために必要となる研究やイノベーションのプロセスをデザインし、その中で ELSI への対処が行われる¹。

たとえば EU では、基幹となる枠組みプログラム「ホライズン・ヨーロッパ（Horizon Europe）」（2021～2027）において、RRI の観点が必要となるプロジェクトへ組み込まれるように政策誘導している（JST-CRDS 2021）。このような事情も手伝い、AI や気候工学、ナノテクノロジーなどの新興技術領域への RRI アプローチの適用²は増加傾向にある（JST-CRDS 2022）。こうした政策誘導が続いていることも後押しし、今後も RRI アプローチの適用は世界的に増えていくと考えていだろう。

ただし、新興技術は技術ごとにそれぞれ特有の性質をもつ。そのため、新興技術と一括りにして画一的に RRI アプローチを適用するのではなく、その技術と RRI アプローチの相性を慎重に判断したうえで、適切なフィードバックを行い柔軟に運用していくことが重要である（Holter et al. 2023; Wang 2023）。また、RRI アプローチを用いようとする主体の規模や背景事情が異なれば、プロセスのデザインや運用の仕方も変わってくるだろう。そこで本稿では、量子技術に目を向け、RRI を量子技術領域へと適用する先進的な政策が、国外においてどのように展開されているのかをレビューする。というのも、量子技術は経済安全保障上から世界的に注目されている重要な新興技術の一つであるものの、AI など他の新興技術と比較した際、ELSI 関連の政策面では

¹ ELSI を「課題」ではなく「(ELSI という名称の) 取り組み」と捉える場合もあるが、特に言及しない限り、本稿では課題としての ELSI を意図している。この考えのもとでは、RRI は (取り組みとしての) ELSI を乗り越えるポスト ELSI 的アプローチではなく、ELSI を扱う数あるアプローチの中の一つである。実際、先見的なガバナンスを用いないような (課題としての) ELSI の対処法は RRI 以外にも存在する。

² たとえば、AI 領域では Stahl (Stahl 2022)、気候工学領域では Low と Buck (Low and Buck 2020)、ナノテクノロジー領域では Jansma ら (Jansma et al. 2021) などの先行研究が挙げられる。

未だ途上段階にあるためである。実際、日本国内の3つの重要戦略文書³においても、ELSIやRRIに関する記述が見受けられないのは量子技術だけである。国外における政策をレビューすることにより、日本国内における議論の促進が期待できる。

レビューの方針は以下のとおりである。まず、量子技術のELSI関連の政策的取り組みを行っている主体を抽出し、そのうち主要なものを選択した。その結果、主体の抽象度⁴に違いが見られたため、説明の都合上、抽象度別にセクションを設けた。具体的には、セクション2で国際機関レベル、セクション3で地域・国レベル、セクション4でビジネスレベルのRRIアプローチをそれぞれ取り上げている。

2. 国際機関による政策提言

セクション2では、複数の国をまたがる国際機関によって、量子技術のELSIに関してどのような政策が出されているのかを整理する。具体的には、2-1でOECD（経済協力開発機構）を、2-2でWEF（世界経済フォーラム）を扱う。国際機関による政策提言は、セクション3で述べる各地域・国レベルにおける政策立案に一定程度の影響を与えている。

2.1. OECD

OECD（Organisation for Economic Co-operation and Development）は、2023年現在で38ヶ国が加盟している国際機関である。個々の国家レベル・国際レベルを問わず、志を同じくする政府が協調して問題に対処していく姿勢が重要だと主張している。

³ 『量子技術イノベーション戦略』（内閣府 2020, p.6）には、AIとバイオ、そして量子技術の3つの技術が「すべての科学技術イノベーションに影響する最先端の基盤的技術」であり、『AI戦略2022』（内閣府 2022）と『バイオ戦略2020』（内閣府 2020）を併せた3つの戦略文書を「国の重要技術戦略として位置づけ」と記載されている。『AI戦略2022』には「責任あるAI（Responsible AI）」（p.19）、『バイオ戦略2020』には「ELSIへの対応」（p.8）といった仕方でELSI/RRIへの言及がある。

⁴ 「主体の抽象度」という表現で意味するのは、政策的取り組みを行う一つのまとまりとしての主体のあり方が国家横断的であるか国家単位であるかということであり、その主体の物的・経済的規模の度合いではないことに注意されたい。

それを実現する手段として、OECD は国際機関であるその特性を活かし、国際的な基準を確立することによるテクノロジーガバナンスを志向している。たとえば 2023 年発行の『STI Outlook 2023』の第 6 章においては、リスクを管理し、共通の価値観を根付かせるためのテクノロジーガバナンスの重要性が強調されている (OECD 2023a)。そこでは、「価値観」「設計基準」「ツール (運用)」の三層構造で構成されたフレームワークにより、ソフトロー⁵による RRI アプローチで量子技術を含む新規技術の ELSI に対応する方針が示されている。また、2020 年に発行され 2023 年に日本語訳された『先見的ガバナンスの政策学』では、先見的な取り組みを可能にする「AIG (Anticipatory Innovation Governance) モデル」をキーワードとして、組織や予算制度の在り方などを含む、公共セクターの改革を提言している (OECD 2020/2023)。

上記のような取り組みを実現するために、OECD はいくつかの場を設置している。たとえば、科学技術政策を担当する委員会として、CSTP (Committee for Science and Technology Policy) が設置されている。CSTP は上記の『STI Outlook』を発行している他に、新興技術やイノベーション技術政策などを扱う作業部会をいくつか置いている (cf. 城山 2023)。他にも、技術がもたらす長期的な機会とリスクを予見し、先手を打つことを目的とした対話を行うオープンな場として、GFT (Global Forum on Technology) が設置されている (OECD 2022)。そこでは、特定の技術政策トピックについて包摂性をもった議論が行われており、2023 年には量子技術の RRI に関するイベント「流動する未来? (Future in flux?)」⁶が開催されている。

2.2. WEF

WEF (World Economic Forum) は、長期的な視点に基づく産官学連携の推進を目的とした国際組織である。OECD が政府間の国際組織であるのに対して、WEF は民間セクター主導の国際組織である点で異なる。科学技術の飛躍的な進歩による影響が多岐に渡ることを受けて、ELSI を含む様々な課題に世界規模で取り組むことをミッションとして掲げている。

⁵ 量子技術のように急速に研究開発が進む領域では、ハードローでの対応は後手に回ってしまう可能性が高い。そのため、ソフトローによる迅速かつ柔軟な運用の方がより望ましいとされている (OECD 2023a)。

⁶ 2023 年 11 月 27-28 日開催のオンラインイベント「流動する未来? 責任ある量子技術開発のためのグローバルな問題と国家戦略 (Future in flux? Global issues and national strategies for responsible quantum technology development)」。特筆すべき点として、哲学者・倫理学者である Pieter Vermaas (デルフト工科大学) が登壇している。

WEF による RRI アプローチに基づく提言は、主に「第四次産業革命センター（Centre for the Fourth Industrial Revolution）」（以下、「C4IR」）が担っている。C4IR の活動の代表的なものとして、『量子コンピューティング・ガバナンス原則』がある（WEF 2022a）。そこでは、社会にとって有益な結果をもたらすと考えられる中核的な価値観（共通善、アカウンタビリティ、包摂性、分配均衡性⁷、悪用の阻止、アクセシビリティ、透明性）を据えつつ、責任と目的をもって量子技術を設計・導入するための先見性のある原則を策定することによって、柔軟かつ倫理的なガバナンスや標準化を構築するという提言がなされている。また、2024 年発行の『量子経済ブループリント 2024』は、各地域や各国の戦略において上記ガバナンス原則を実践する際の、次のステップを可能にするものとして作成された（WEF 2024a）。そこでは、上記ガバナンス原則に由来する 9 つのテーマ⁸が示されており、さらに各テーマにおいて複数の構成要素（building block）が設定されている。各地域や各国における実践においては、各々の量子戦略の成熟度（フェーズ）⁹に基づいて、モジュール方式で適切な構成要素を採用することが勧められている。

⁷ Equitability（Equity と ability の複合語）の訳語である。類語として Fairness があるが、Fairness がルールや基準の公平さを意味するのに対して、Equity は適切な資源配分における公平さを意味する。

⁸ (1) 変革的能力、(2) ハードウェアインフラとサプライチェーンへのアクセス、(3) オープンなイノベーションと商業化、(4) 意識改革、(5) 労働力開発、(6) 国家経済安全保障、(7) サイバーセキュリティとプライバシー、(8) ガバナンス・責任あるイノベーション・標準化、(9) 持続可能性

⁹ ここでは、以下の 5 つのフェーズが想定されている。(1) 発見のフェーズ、(2) 戦略を検討するフェーズ、(3) 優先事項を決定するフェーズ、(4) 実施はされていないものの戦略が明確なフェーズ、(5) 計画を実行する最終的なフェーズ。9 つの各テーマに 5 つのフェーズを割り当て、そこに構成要素をマッピングした詳細な図が用意されている（WEF 2024a, pp.10-11）。一つ例を挙げると、構成要素「責任あるイノベーションの運用」は、テーマ (8) のうち、フェーズ (3) ～ (5) に渡ってマッピングされている（下図参照）。そこでは、オランダの量子デルタ NL が開発した量子技術特化のインパクト・アセスメントツール「EQTA（The Exploratory Quantum Technology Assessment）」が取り上げられている（3.2.1 参照）。

テーマ \ フェーズ		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
		発見	戦略の検討	優先事項の決定	戦略の明確化	計画の実行
(8)	ガバナンス・ 責任あるイノベーション・ 標準化	共通善の定義		責任あるイノベーションの運用		
						技術促進的な規制
					標準化の戦略	

その他、C4IR による成果の一部を列挙する。2022 年発行の『量子コンピューティングの現状』の第 4 章では、量子コンピューティングに関する政策や規制、標準化に関する問題が取り上げられている (WEF 2022b)。また、民間企業向けに、量子技術やその他新興技術に関する ELSI への対応策を検討・提案している。たとえばデロイトとの共同で作成したホワイトペーパー『量子セキュア経済へ移行する』や『量子準備ツールキット』は、各企業が量子セキュリティ対策を秩序的かつ非事後的に行うための指針として機能することを企図している (WEF 2022c; WEF 2023b)。また、各企業の組織設計やそこで働く従業員に対して、倫理的な意識や「テクノロジーの責任ある使用・開発」の考え方を浸透させる取り組み¹⁰を行っていることも挙げられる (WEF 2022d)。

加えて、C4IR とは異なるセンターとして、量子技術を含む新興技術の責任ある倫理的かつ安全な生産と利用を促進することを目的とした、「信頼できるテクノロジーセンター (Centre for Trustworthy Technology)」が 2023 年にアメリカのオースティンに設立された (WEF 2023a)。このセンターの具体的な成果として、AI と量子技術を新たなツールとして創薬プロセスへアプローチする際に、これらのツールを最も効果的かつ責任のある仕方を使用するための倫理的ガイドラインがある (WEF 2024b)。ここでは、とりわけ AI と量子技術が統合される初期段階においては業界内での倫理的側面における協力 (Ethical cooperation) とベストプラクティスの共有が不可欠であることや、従業員への倫理原則とリスク軽減戦略についての教育が重要であることなどが強調されている。

3. 地域・国レベルの量子 RRI 政策

セクション 3 では、各地域・国の単位で、量子技術の ELSI に関してどのような政策が出されているのかを整理する。具体的には、3-1 で EU を、3-2 で個別の国家 (オランダ、イギリス、アメリカ) を扱う。セクション 2 で述べた国際機関による提言がセクション 3 の議論に影響を与え、さらにはこれがセクション 4 で簡単に述べるビジネスの展開へと影響を与える。

¹⁰ 「テクノロジーの責任ある使用 (Responsible Use of Technology)」プロジェクトは 2022 年のホワイトペーパー以降、報告書等の発行はない。

3.1. EU の動向

EU は、2023 年現在で 27 ヶ国が加盟している国家連合である。EU もまた国家横断的な国際機関であるが、以下の点において OECD や WEF とは明確に異なる。まず、EU は欧州圏における地域統合体であるため、国家横断的であるとはいえ影響を持つ範囲は欧州の一部加盟国に留まる。また、他の国際機関とは異なり、EU は加盟国の主権を一部共有していることから、加盟国の政策・法律・経済へと直接的に影響を与える。主に以上の点から、セクション 2 ではなくセクション 3 で EU を取り上げることとする。ただし、その性質と役割は個別の国家とは異なるため、3-2 で扱う各国レベルの動向と同じレベルで捉えるのはややミスリーディングである。読者によってはその点注意されたい。

EU の執行機関である「欧州委員会 (European Commission)」(以下、EC) は、EU における科学技術政策の実施やプログラムの管理を行っている。セクション 1 でもすでに述べたように、枠組みプログラム (以下、FP) を基幹的プログラムとし、その中で各種研究助成を行っている。特に、「ホライズン 2020 (Horizon 2020)」(2014 年～2020 年) や「ホライズン・ヨーロッパ (Horizon Europe)」(2021 年～2027 年) では RRI アプローチを取り入れたメニューを用意しており、EU 加盟国の各国政策に RRI の原則を浸透させるように誘導を行っている。具体的な加盟国の動きについては 3-1 で述べる。

量子技術領域では、FP8 である「ホライズン 2020」のもと、2016 年に設置されたコンソーシアム「QuantERA」¹¹が中心となって政策を推進してきた。また、2018 年にはホライズン 2020 のもと、より大規模な資金投入を可能とする「量子フラッグシップ (Quantum Flagship)」プログラムが策定され、FP9 となる「ホライズン・ヨーロッパ」になった現在もそのプログラムのもと量子技術に関連する政策が推進されている (図 1「EU における量子政策年表」を参照)。

¹¹ QuantERA は 31 ヶ国の公的な研究助成機関から構成されており、現在は EU を脱退しているイギリスも含め、多くの欧州諸国が参加している。その活動内容の中核には RRI が据えられており、それを推進する具体的な組織等は明記されていないものの、『QT における責任ある研究・イノベーションのガイドライン (Guidelines in RRI in QT)』が定められている (QuantERA 2024)。このガイドライン自体はホライズン 2020 における RRI の記述を敷衍したものであるが、付属資料として QuantERA 独自のワークショップに関する報告書が添えられている。そこには、ワークショップ参加者が RRI に対してどのように感じているかを項目別に調査したアンケート結果が記載されている。

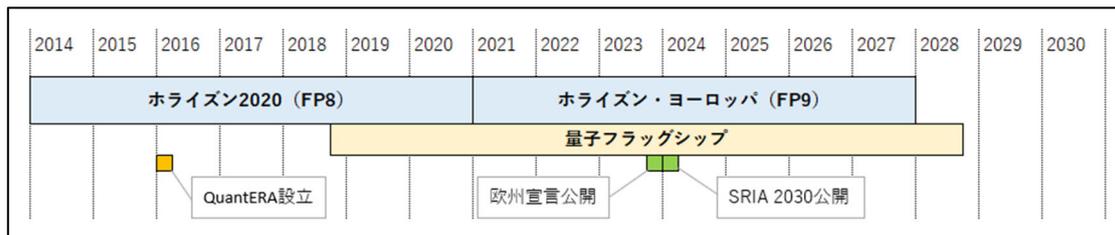


図1 「EUにおける量子政策年表

ELSI や RRI 関連では、2023 年以降にいくつかの動きがあった。たとえば、『リスク評価に関する勧告』は、デュアルユースによる平和・安全への脅威や人権侵害のリスクがある 10 の重要技術分野のうち、とりわけセキュリティの観点から差し迫ったリスクをもたらす可能性の高い 4 つの技術についてのリスク評価を 2023 年末までに行うよう勧告しており、この中には量子技術も含まれている（EC 2023a）。この勧告の次の段階としては、2024 年春までに EC と加盟国とのオープンな対話と、最初のリスク評価を踏まえたイニシアチブの提示が予定されている。加えて、EU をシリコンバレーならぬ「量子バレー」へと押し上げることを改めて宣言した『量子技術に関する欧州宣言』¹²にも社会的・経済的インパクトに配慮する必要がある旨が記載されているほか、量子バレーへのロードマップを描いた『SRIA 2030』（Strategic Research and Industry Agenda）においても、量子技術に関する社会的・倫理的価値やガバナンスのためのモデルが議論されている（EC 2023b; Quantum Flagship 2024）。

その他、QuantERA が公開した『量子技術公共政策レポート 2023』は、EU レベルと各国レベルの両方において政策立案に役立つことを目的として、EU 各国の政策状況や助成制度を包括的に整理している（QuantERA 2023）。RRI を含め、ELSI 関連の政策に取り組んでいる EU 諸国のサーベイを行う際に役立つことが期待される。

¹² ただし、この宣言に賛同している EU 加盟国は一部であり、宣言が公表された時点では 3-2-1 で述べるオランダは賛同していない。

3.2. 各国の動向

3.2.1. オランダ

2-3 でも述べたように、EU は加盟国の各国政策に RRI の原則を浸透させるように誘導を行っている。ここでは、EU 加盟国の中でもとりわけ ELSI や RRI 関連の取り組みを盛んに行っている典型事例として、オランダを取り上げる¹³。

オランダは 2019 年、量子技術における国際的な中心地・ハブとしての地位を確立する目的で、「量子技術国家アジェンダ (National Agenda On Quantum Technology)」を公開した (QuTech 2019)。そこでは、行動指針の 4 つ目として「ELSA (Ethical, Legal and Social Aspects)」¹⁴ への対応が掲げられている (図 2 参照)。ELSI 関連分野にとって重要な点として、この国家アジェンダにおいては、量子技術それ自体は善悪に関して中立的であるという前提に基づいて諸問題と向き合うと主張されていることが挙げられる。

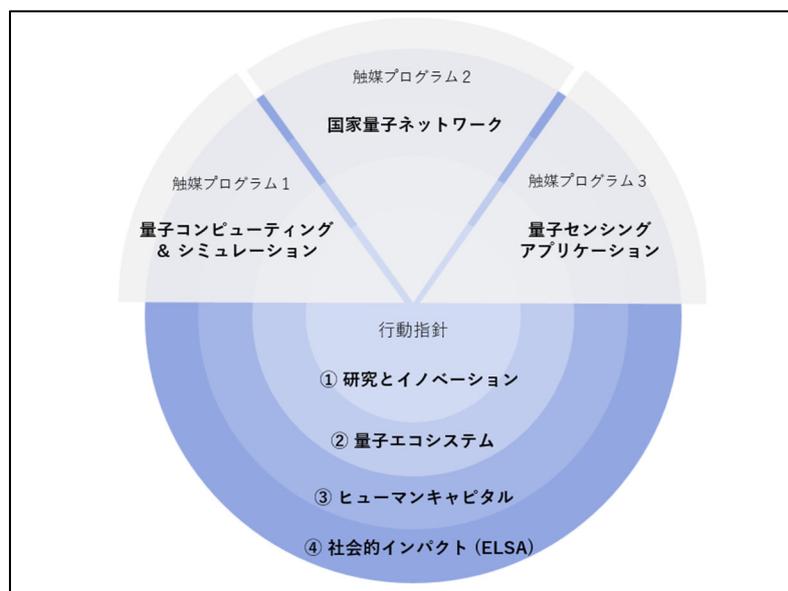


図 2 国家アジェンダの行動指針 (Quantum Delta NL 2024 を参考に筆者が作成)

¹³ ただし、Griesdoorn らによるオランダの政策立案者らに対するインタビュー調査によると、オランダの政策立案に RRI の観点が浸透しているとは言えない (Griesdoorn et al. 2023)。また、2023 年行われた総選挙で勝利した自由党の党首 Geert Wilders は EU 離脱を主張しており、今後の動向に注意が必要である。

¹⁴ ELSI (Ethical, Legal and Social Issues) という表現はアメリカにおいて登場したが、欧州では同じ対象を指して ELSA (Ethical, Legal and Social Aspects) と呼ぶことが多い。

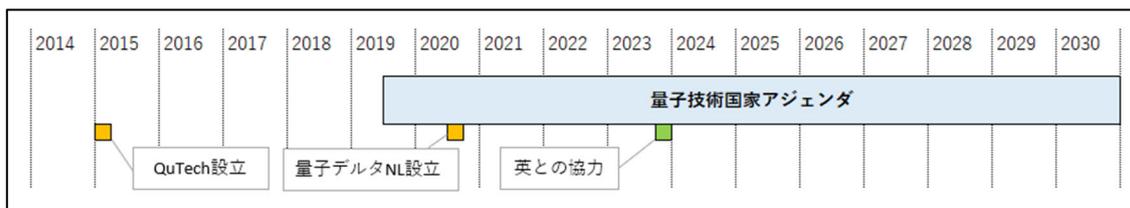


図3 オランダにおける量子政策年表

この基幹的プログラムとしての国家アジェンダを推進するため、実行主体として「量子デルタNL (Quantum Delta NL)」が2020年に発足した(図3「オランダにおける量子政策年表」を参照)。拠点はQDNL デルフト、QDNL アムステルダム、QDNL ライデン、QDNL アイントフォーヘン、QDNL トゥエンテの5つであり、デルフト工科大学内にある世界有数の量子技術研究機関であるQuTechもその発足に大きく貢献している。加えて、量子デルタNL内には、国家アジェンダの行動指針4「社会的インパクト (Societal impact)」(図2参照)を担うELSA対応チームとして「量子と社会センター (Centre for Quantum & Society)」が設置されている。そこには哲学者・倫理学者のPieter Vermaasや科学コミュニケーターのJulia Cramer、情報法学者のJoris van Hobokenなど、数多くの人文社会科学系の研究者が所属している。また、同センターは量子技術特化のインパクト・アセスメントツール「EQTA (The Exploratory Quantum Technology Assessment)」を開発している。これは、組織による量子技術の活用における潜在的な課題を特定することを目的として設計されており、量子技術のELSIについて計画の初期段階から十分な情報を得た上で意思決定を行うための参考となる(Quantum Delta NL 2023)。

また、対外的取り組みとして、EU非加盟国であるイギリスとも協力する覚書に、オランダ中央政府が2023年末に調印している(Rijksoverheid Voor Nederland 2023)。そこでは、多様なステークホルダーを対象とした広報や、責任ある量子技術使用のための倫理原則・ガバナンス原則の策定を共に行っていくと述べられている。他にも、3-3で詳述するように、アメリカのスタンフォード大学内に量子技術に特化したRRI研究を行うセンターが2023年末に設立されたが、これにはオランダが強く関わっている。以上のことから、EU域外との共創的研究が期待される。

3.2.2. イギリス

よく知られているように、イギリスは2016年の国民投票の結果に基づき、2020年をもってEUを離脱した。2023年にはイギリス人研究者のホライズン・ヨーロッパへの参画が許可されたものの、依然としてEU加盟国とは対照的な存在である。EU非加盟国として量子技術のELSI/RRIに取り組んでいるヨーロッパ圏の国として、イギリスを取り上げることとする。

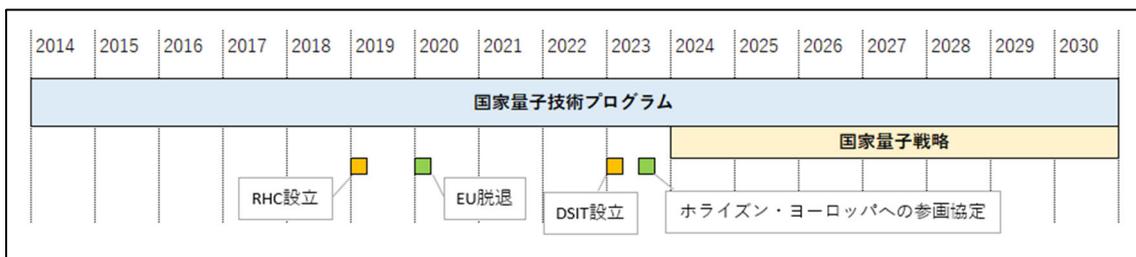


図4 イギリスにおける量子政策年表

イギリスの量子政策への取り組みは世界的にも早く、2014年には当初10ヶ年の計画で「国家量子技術プログラム (National Quantum Technologies Programme)」(以下、NQTP)を策定していた(図4「イギリスにおける量子政策年表」を参照)。当初からRRIや規制・標準化、社会的影響についての配慮を明示しており、量子技術のELSIへの取り組みは他国よりも早かった(NQTP 2015)。たとえば、一般市民による量子技術に関する期待や懸念・要望などを含んだ知識と意見を掘り下げることを目的としたパブリックダイアログが「工学・物理科学研究評議会 (Engineering and Physical Sciences Research Council)」(以下、EPSRC)によって2017年に行われたが、これは量子技術と社会との関係を検討する事例としては先駆的である(EPSRC 2018; 岸本・長門 2022)。このようなイギリスの取り組みは、広範な量子技術開発を対象とした最初期の主要な国家主導の取り組みと言え、EUの量子フラッグシップやアメリカの国家量子イニシアチブの発足にも影響を与えた。

この基幹的プログラムは2023年までに10億ポンドを量子技術開発へと投資してきたが、当初の10ヶ年計画をさらに10年間延長し、そのもとで10ヶ年の「国家量子戦略(National Quantum Strategy)」を発売した(Gov. UK 2023)。この戦略は、イギリスが世界をリードする量子科学・工学や量子ビジネスの本拠地となり、イギリスの経済・社会・国家安全保障にとっての利益をもたらすことを目的としている。また、この戦略は4つのサブ戦略で構成されており、4番目の戦略「量子規制をリードし、セクターを保護する(Leading quantum regulation and protecting the sector)」がRRIに関連している。具体的には、イギリスの国力を向上させ、国家安全保障を守る国内及び国際的な規制の枠組みを構築し、イノベーションと量子技術の倫理的な利用を支援することを掲げている。オランダと比較すると富国強兵や国家安全保障としての側面が色濃く出ているものの、ELSIやRRI的な側面についてオランダと協調していく方針であることは、3-1でも述べたとおりである。

この基幹的プログラムを推進するための実行主体は「量子室 (Office for Quantum)」である。量子室は、「ビジネス・エネルギー・産業戦略省」の後身として2023年に設立された「科学イノベーション技術省 (Department for Science, Innovation and Technology)」(以下、DSIT)

内に設置された。また、新興技術が現行の法規制に適合するかどうかを事前に調査することを目的として、DSITが後援する独立専門委員会として「規制ホライズン委員会(Regulatory Horizons Council)」(以下、RHC)が2019年に設置されている¹⁵。国家戦略には、量子技術関連の将来的な規制の必要性についてのレビューをRHCに委託し、相応かつイノベーションを促進するような規制の発達を導くための作業計画をRHCが策定する旨記述されている(Gov. UK 2023)。その成果報告書として公開された『量子技術応用の規制に関するRHC報告書』では、量子技術(コンピューティング、通信、センシング等)ごとに技術成熟度(Technology Readiness Levels)が分析されており、それぞれの技術成熟度に応じた適切なガバナンス(標準、ガイダンス、規制)のあり方が論じられている(RHC 2024)。そこでなされた複数の提言はイギリスにおける量子技術の発展を目的としたものであるが、より一般化した適用にも十分耐えうる普遍的な内容になっている。

3.2.3. アメリカ

アメリカはELSIという言葉の発祥の地であり、バイデン政権においてはRRI的な発想の重要性が認識されている¹⁶(Nelson 2021)。地理的にもEUと独立していることから、非ヨーロッパ圏の重要国としてアメリカを取り上げる。

アメリカにおける量子技術に関する政策の当面の方針は、量子情報科学小委員会によって2018年に公開された『量子情報科学に関する国家戦略概要』で示されており、ここでは「国家量子イニシアチブ法(National Quantum Initiative Act)」(以下、NQI法)や同時に走るNQIプログラムの概要が述べられている(<quantum|gov> 2018)。NQI法及びNQIプログラムは、2018年末から2030年までの11ヶ年に渡る、量子技術に関する基幹的プログラムである(図5「アメ

¹⁵ 設立自体は、DSITの前身であるビジネス・エネルギー・産業戦略省による。

¹⁶ OSTP(米国科学技術政策局)の「科学と社会」部門長であるNelsonは、インタビューで以下のように述べている(Nelson 2021, p.27)。

目標は、米国民の視点を意図的かつ明示的に取り入れた科学政策を構築することです。(略)包括性・説明責任・正義・誠実さといった民主主義的価値観の中に科学技術政策を位置づけようとする明確な努力が、政権の言葉として聞かれるようになりました。課題は、常にこれらの価値観を念頭に置いて政策を推進、設計、実施していくことです。

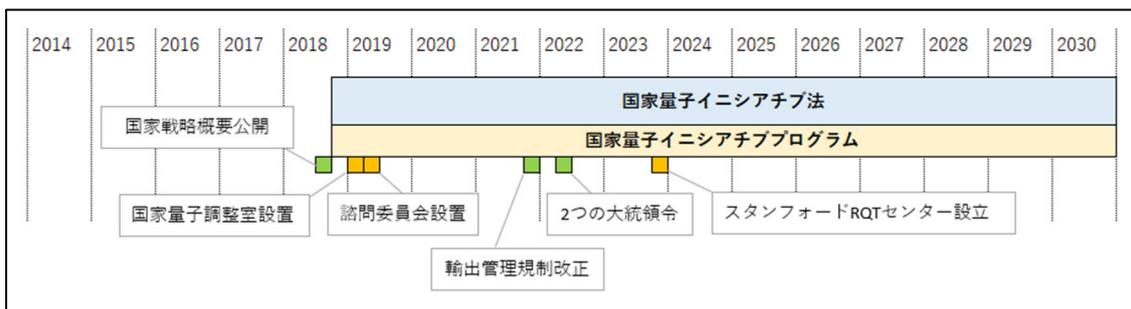


図5 アメリカにおける量子政策年表

リカにおける量子政策年表」を参照)。これは量子情報科学技術分野における世界的なイニシアチブの確保を目的として策定されたものであり、そこで設置根拠が規定されている「国家量子調整室 (National Quantum Coordination Office)」¹⁷がNQIプログラム推進の実行主体を担う。

前述したようにバイデン政権ではRRIの重要性が認識されているが、2023年現在、国家戦略概要やNQI法・プログラムには、ELSIやRRIに関する記述は明示的には見当たらず、関連する委員会にもELSIやRRIに関する専門家は含まれていない¹⁸。ただし、規制や標準化という観点から言えば、以下の2つの出来事が重要である。まず、2021年に輸出管理規則が改正され、米商務省産業安全保障局 (以下、BIS) が発行する貿易上の取引制限リストである「エンティティリスト」に、量子技術関連の中国企業が追加された (BIS 2021)。これは、量子・AI技術を軍事利用している (あるいはその可能性がある) 中国企業に対して当該技術の輸出を規制するものであり、量子技術のデュアルユースの側面に関連している。次に、2022年に出された大統領令¹⁹では、現在の標準からアメリカ国立標準技術研究所 (National Institute of Standards and Technology) による新たな量子耐性暗号標準へと移行するためのプロセスに関する具体的な計画が発表された (The White House 2022)。これは、量子技術に起因するサイバーセキュリティ

¹⁷ OSTP (米国科学技術政策局) 内に設置されている。

¹⁸ あくまで量子技術に関連する領域においては見当たらないということであり、他の領域については当てはまらない。たとえば、OSTP (米国科学技術政策局) には註8で言及した「科学と社会」部門があり、そこには人文社会科学系の研究者が在籍している。

¹⁹ 同時に2つの大統領令が出された。一つは本稿で取り上げている標準化についてのものであり、もう一つはNQI諮問委員会のメンバー選出権限をエネルギー省からホワイトハウスに移すというものであった。

上のリスクへの対処を目的としている²⁰。以上からわかるように、アメリカにおける量子技術政策は、富国強兵や国家安全保障の側面が他国と比べて強いと言える。

その他特筆すべき点として、スタンフォード大学の「責任ある量子技術センター (Stanford Center for Responsible Quantum Technology)」(以下、RQT センター) が挙げられる。RQT センターはその名の通り量子技術に関する RRI 研究を行うセンターであり、2023 年末にスタンフォード大学内に創設された (RQT センター 2023)。センター長である法学者の Mauriz Kop は量子技術の RRI や ELSPI²¹に関する著作を数多く出版していることで知られており、その他のメンバーも同様のテーマに取り組んでいる。ただし、国家としての取り組みという側面は薄く、むしろオランダとの強い協力関係が示唆されている²²。

4. おわりに：ビジネスへの展望

ここまで、量子技術に関する ELSI、とりわけ RRI アプローチに相当するものを、国際機関レベルによる政策提言から各地域・国レベルでの実際の政策立案までレビューしてきた。すると次の段階は、各企業レベルでのビジネスへの展開だろう。量子技術、とりわけ量子コンピューティングの商用利用には期待が高まっており、IBM や Google をはじめとするテック系企業が多額の投資を行い、着実にその成果が出ている (IBM 2024a; Arute et al. 2019)。性能や実用化の時期について過度の期待を抱かせることや、疑似科学からの不適切な接近には警戒すべきであるが、近い将来、量子コンピューティングがビジネスへと大きな影響を与える可能性は高いと言ってよ

²⁰ Derose は、アメリカ政府によるサイバーセキュリティ上の対策について以下のように述べている (Derose 2023, p.156)。

しかし、サイバーセキュリティ問題に対するこうした一般的な対応は、量子コンピューティングがもたらす特有の問題に焦点を当てたものではなく、アメリカ政府は量子コンピューティングの社会的影響への対応や、それに対処するための適切な規制原則の策定にほとんど時間を費やしてこなかった。

²¹ ELSI に政策 (Policy) の要素を加えたもの。

²² センター長である Kop がオランダ出身であることから在米学識者オランダネットワークとの繋がりがあ
り、オランダ首相 Mark Rutte がセンター設立日に現地へ訪れている様子がウェブサイト上で公開されて
いる (RQT センター 2023)。

い。

一方で、急速に進む新興技術領域では初期はソフトロー的なアプローチから入っていき、徐々に共同規制やハードローとの組み合わせなどに進んでいく見込み²³から、各企業における自主的かつ合理的な倫理的判断に基づいた運用が求められるといった指摘もあり（羽深 2023）、量子技術についても例外ではない（Johnson 2019）。つまり、ビジネスレベルにおいても、量子技術の ELSI への早期からの対応が求められるのである²⁴。

とはいえ、何の指針もないままに各企業へ独自の判断を求めるのは、現実的ではない。そこで最後に、量子ビジネスにおける RRI 的なアプローチをいくつか紹介し、今後の展望を示唆する。基礎的な研究・開発の段階における企業の取り組みとしては、以下が挙げられる。まず、IBM が「責任ある量子（Responsible Quantum）」チームを社内に設置し、自身も起草に携わった WEF の『ガバナンス原則』の考え方を取り入れたうえで「責任ある量子原則（Responsible Quantum Principles）」を独自に作成し、量子技術の RRI に取り組んでいる（IBM 2024b）。また、Google は「Google AI 原則（Google's AI Principles）」（Google 2023）の理念を量子技術にも適用し、「量子コンピュータへの責任あるアプローチ」と称した方法での研究・開発を宣言している（Google 2024）。量子技術の研究・開発に取り組む他企業は、これらの取り組みをモデルとして参照することができるだろう。

また、研究・開発から社会実装までの段階をスコープとして、個別の企業が量子技術を導入する際の指針として機能することを企図したものとしては、以下が挙げられる。まず、すでに 2-2 でも述べたように、WEF は量子技術やその他新興技術に関する ELSI、とりわけ量子セキュリティへの対応策を検討し、秩序的かつ非事後的な対応の指針となる成果物を民間企業向けにいくつ

²³ 新興技術の進展の速さからハードローではなくソフトローを取り入れた形での運用が望ましいという論点は、OECD によっても指摘されていた（2-1 参照）。ただし、EU は伝統的にハードローによる規制を主としており、生成 AI 等の他技術についても同様の傾向にある。それに対して、日本はソフトローに過剰に依存した運用を採用する傾向にあり、規範意識が適切に機能する難しさが指摘されている（横山 2021）。

²⁴ Hofman と Flöther は、プロセスのブラックボックス化や責任の不透明さ等、量子技術がもたらすリスクを根拠として、量子技術のビジネスへの導入は倫理学の議論を取り入れながらなされなければならないと論じている（Hofman and Flöther 2023）。

か公開している。他にも、Wynn と Jones は、「企業のデジタル責任（Corporate Digital Responsibility）」（以下、CDR）という考え方が RRI の要素を有しており、量子技術領域に適用するのに十分な価値があることを示している（Wynn and Jones 2023）。CDR とは、「企業の社会的責任（Corporate Social Responsibility）」として知られる考え方の一部あるいは補完的存在であり、「組織がデータやデジタル技術を社会的、経済的、環境的に責任あるものとして認識される方法で利用するための一連の実践と行動」のことを指す（Corporate Digital Responsibility 2021）。すでに PwC やデロイト、EY、KPMG といった大手コンサルティング会社の海外法人²⁵では CDR に関するガイダンス資料を各企業向けに提供しており、量子技術向けのもの作成や、指針の具体化、そして実際に参照した企業からのフィードバックを取り入れることによる改良など、さらなる進展が期待される。

以上、RRI を量子技術領域へ適用するという発想を、国際機関レベル、地域・国レベル、そしてビジネスレベルのそれぞれにおいて簡単にレビューしてきた。RRI アプローチは望ましい社会像や価値観を中核に据えたうえで全体のプロセスをデザインすることが求められるため、中核的価値観やデザインの仕方は主体によって異なるだろう。また、RRI アプローチの適用対象の抽象度が異なれば、それに伴って検討事項や運用の仕方も変わるだろう。それぞれの事情を考慮しつつ、柔軟に適用・フィードバックしていく必要がある。

²⁵ いずれも日本国外における取り組みである。

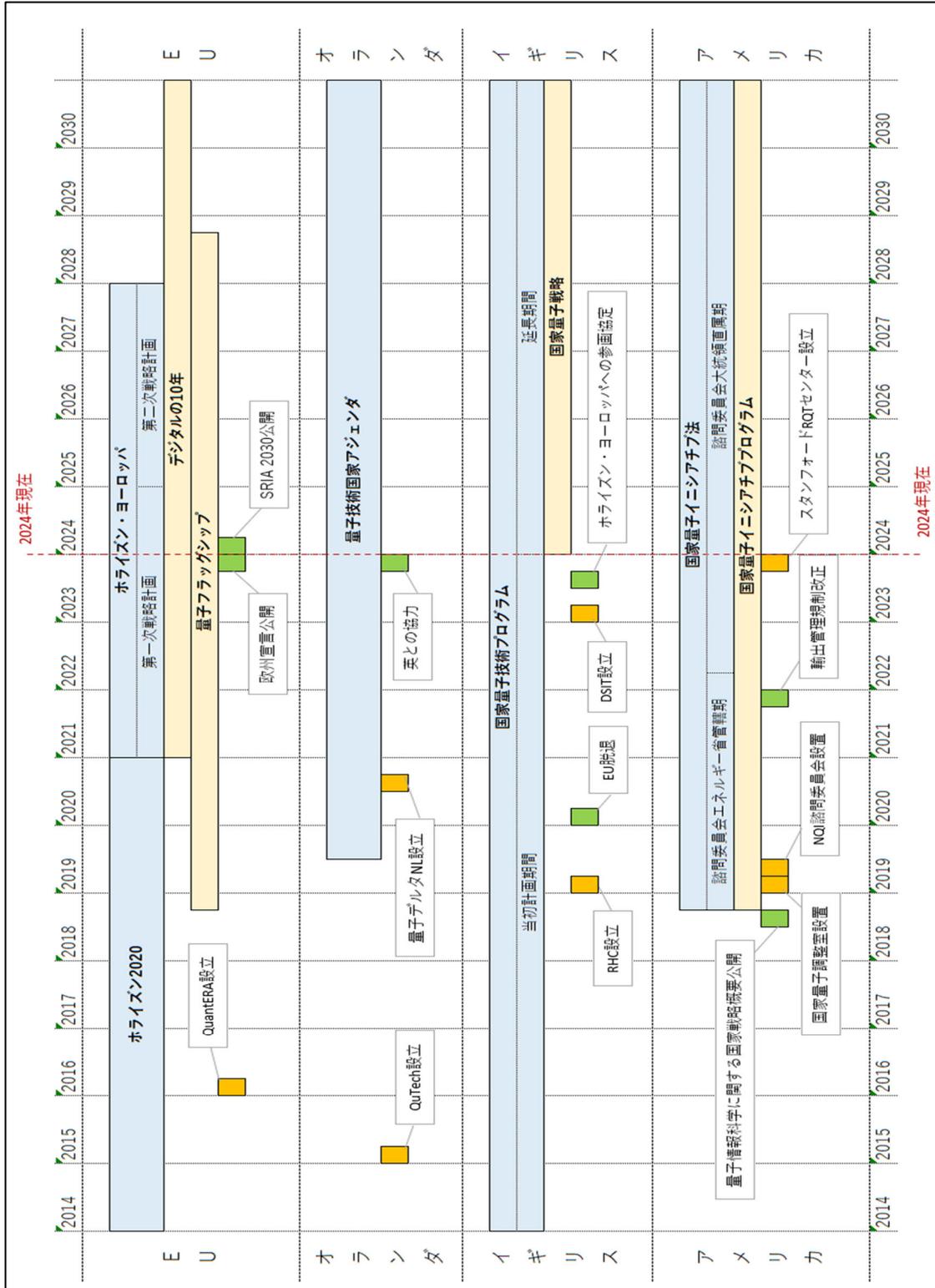


図6 世界の主要な量子政策年表

引用文献リスト

Arute, F. et al., 2019, Quantum supremacy using a programmable superconducting processor, *Nature*, 574, 505-510.

BIS, 2021, Addition of Entities and Revision of Entries on the Entity List; and Addition of Entity to the Military End-User (MEU) List, <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2021-11-26/pdf/2021-25808.pdf>, (閲覧日：2024年2月22日)。

Corporate Digital Responsibility, 2021, HOME, <https://corporatedigitalresponsibility.net/>, (閲覧日：2024年2月22日)。

Derose, K., 2023, Establishing the Legal Framework to Regulate Quantum Computing Technology, *Catholic University Journal of Law and Technology*, 31(2), 145-171.

EC, 2023a, Commission Recommendation of 03 October 2023 on critical technology areas for the EU's economic security for further risk assessment with Member States, https://defence-industry-space.ec.europa.eu/commission-recommendation-03-october-2023-critical-technology-areas-eus-economic-security-further_en, (閲覧日：2024年2月22日)。

EC, 2023b, European Declaration on Quantum Technologies, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/european-declaration-quantum-technologies>, (閲覧日：2024年2月22日)。

EPSRC, 2018, Quantum Technologies: Public Dialogue Report Summary, <https://nqit.ox.ac.uk/sites/www.nqit.ox.ac.uk/files/2018-07/Quantum%20Technologies%20Public%20Dialogue%20Report%20Summary.pdf>, (閲覧日：2024年2月22日)。

Google, 2023, AI Principles Progress Update 2023, https://ai.google/static/documents/ai-principles-2023-progress-update.pdf?_gl=1*1nmnly*_up*MQ..*_ga*MTc1OTM5OTAyNS4xNzA4NDA4Mjc2*_ga_KF660X3H7K*MTcwODQwODI3NS4xLjAuMTcwODQwODI3NS4wLjAuMA, (閲覧日：2024年2月22日)。

Google, 2024, Our focused and responsible approach to quantum computing, <https://ai.google/static/documents/approach-quantum-computing.pdf>, (閲覧日：2024年2月22日)。

- Gov. UK, 2023, Policy paper: National Quantum Strategy (accessible webpage), <https://www.gov.uk/government/publications/national-quantum-strategy/national-quantum-strategy-accessible-webpage>, (閲覧日：2024年2月22日) .
- Griesdoorn et al., 2023, The presence of Responsible Research and Innovation in the perspectives of Dutch policy officers regarding innovation with quantum technology, *Journal of Responsible Technology*, 16, 100071.
- Hofman, C., and Flöther, F., 2023, Why Business Adoption of Quantum and AI Technology Must Be Ethical, arXiv, <https://arxiv.org/abs/2312.10081>, (閲覧日：2024年2月22日) .
- Holter, C. et al., 2023, Reading the road: challenges and opportunities on the path to responsible innovation in quantum computing, *Technology Analysis & Strategic Management*, 35(7), 844-856.
- IBM, 2024a, 量子コンピューティング, <https://www.ibm.com/jp-ja/quantum>, (閲覧日：2024年2月22日) .
- IBM, 2024b, The era of quantum utility must also be the era of responsible quantum computing, <https://www.ibm.com/quantum/blog/responsible-quantum>, (閲覧日：2024年2月22日) .
- Jansma, S. et al., 2021, Co-creation in support of responsible research and innovation: an analysis of three stakeholder workshops on nanotechnology for health, *Journal of Responsible Innovation*, 9(1), 28-48.
- Johnson, G., 2019, Governance tools for the second quantum revolution, *Jurimetrics*, 59, 487-522.
- JST-CRDS, 『2021, EU の研究・イノベーション枠組みプログラム Horizon Europe』, <https://www.jst.go.jp/crds/report/CRDS-FY2021-OR-02.html>, (閲覧日：2024年2月22日) .
- JST-CRDS, 2022, 『ELSI から RRI への展開から考える科学技術・イノベーションの変革—政策・ファンディング・研究開発の横断的取り組みの強化に向けて—』, <https://www.jst.go.jp/crds/report/CRDS-FY2021-RR-07.html>, (閲覧日：2024年2月22日) .
- Low, S., and Buck, H., 2020, The practice of responsible research and innovation in “climate engineering”, *WIREs Climate Change*, 11(3), e644.

Nelson, A., 2021, Science and technology now sit in the center of every policy and social issue., Issues in Science and Technology, 38(1), 26-29.

NQTP, 2015, National strategy for quantum technologies: A NEW ERA FOR THE UK, <https://uknqt.ukri.org/wp-content/uploads/2021/10/National-Quantum-Technologies-Strategy.pdf>, (閲覧日：2024年2月22日)。

OECD, 2020, Anticipatory innovation governance: Shaping the future through proactive policy making, OECD Working Papers on Public Governance, No. 44, OECD Publishing (白川展之 訳, 2023, 『先見的ガバナンスの政策学 未来洞察による公共政策イノベーション』, 明石書店)。

OECD, 2022, Global Forum on Technology, <https://www.oecd.org/digital/global-forum-on-technology/>, (閲覧日：2024年2月22日)。

OECD, 2023, OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2023: Enabling Transitions in Times of Disruption, <https://www.oecd.org/sti/oecd-science-technology-and-innovation-outlook-25186167.htm>, (閲覧日：2024年2月22日)。

<quantum|gov>, 2018, NATIONAL STRATEGIC OVERVIEW FOR QUANTUM INFORMATION SCIENCE, https://www.quantum.gov/wp-content/uploads/2020/10/2018_NSTC_National_Strategic_Overview_QIS.pdf, (閲覧日：2024年2月22日)。

Quantum Delta NL, 2023, LAUNCHING THE EXPLORATORY QUANTUM TECHNOLOGY ASSESSMENT, <https://quantumdelta.nl/news/quantum-delta-nl-launches-exploratory-quantum-technology-assessment-eqta>, (閲覧日：2024年2月22日)。

Quantum Delta NL, 2024, ABOUT QUANTUM DELTA NL, <https://quantumdelta.nl/about-quantum-delta-nl>, (閲覧日：2024年2月22日)。

Quantum Flagship, 2024, Strategic Research and Industry Agenda SRIA 2030: Roadmap and Quantum Ambitions over this Decade, https://qt.eu/news/2024/2024-02-14_new-roadmap-to-position-europe-as-the-quantum-valley-of-the-world, (閲覧日：2024年2月22日)。

QuTech, 2019, NATIONAL AGENDA ON QUANTUM TECHNOLOGY: the Netherlands as an international centre for Quantum Technology, <https://qutech.nl/2019/09/16/national-agenda-on-quantum-technology-the-netherlands-as-an-international-centre-for-quantum-technology/>, (閲覧日：2024年2月22日)。

QuantERA, 2023, Quantum Technologies Public Policies Report, <https://quantera.eu/wp-content/uploads/Quantum-Technologies-Public-Policies-Report-%E2%80%93-2023.pdf>, (閲覧日：2024年2月22日)。

QuantERA, 2024, Responsible Research & Innovation, <https://quantera.eu/responsible-research-innovation/>, (閲覧日：2024年2月22日)。

RHC, 2024, RHC report on the regulation of quantum technology applications, <https://www.gov.uk/government/publications/regulatory-horizons-council-regulating-quantum-technology-applications>, (閲覧日：2024年3月4日)。

Rijksoverheid Voor Nederland, 2023, Memorandum of Understanding of the United Kingdom and the Netherlands for cooperation in Quantum Science and Technologies, <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/diplomatieke-verklaringen/2023/11/02/memorandum-of-understanding-of-the-united-kingdom-and-the-netherlands-for-cooperation-in-quantum-science-and-technologies>, (閲覧日：2024年2月22日)。

RQT センター, 2023, SLS Launches a First-of-its-Kind Center for Responsible Quantum Technology, <https://law.stanford.edu/press/sls-launches-a-first-of-its-kind-center-for-responsible-quantum-technology/>, (閲覧日：2024年2月22日)。

Stahl, B., 2022, Responsible innovation ecosystems: Ethical implications of the application of the ecosystem concept to artificial intelligence, *International journal of Information Management*, 62, 102441.

THE WHITE HOUSE, 2022, FACT SHEET: President Biden Announces Two Presidential Directives Advancing Quantum Technologies, <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/05/04/fact-sheet-president-biden-announces-two-presidential-directives-advancing-quantum-technologies/>, (閲覧日：2024年2月22日)。

Wang, D., 2023, Towards Ethical Engineering: Artificial Intelligence as an Ethical Governance Tool for Emerging Technologies, *Comput. Sci. Math. Forum*, 8(1), 76.

WEF, 2022a, Quantum Computing Governance Principles, <https://www.weforum.org/publications/quantum-computing-governance-principles/>, (閲覧日：2024年2月22日)。

WEF, 2022b, State of Quantum Computing: Building a Quantum Economy, <https://www.weforum.org/publications/state-of-quantum-computing-building-a->

[quantum-economy/](#), (閲覧日：2024年2月22日)。

WEF, 2022c, Transitioning to a Quantum-Secure Economy, <https://www.weforum.org/publications/transitioning-to-a-quantum-secure-economy/>, (閲覧日：2024年2月22日)。

WEF, 2022d, Responsible Use of Technology: The Salesforce Case Study, <https://www.weforum.org/publications/responsible-use-of-technology-the-salesforce-case-study/>, (閲覧日：2024年2月22日)。

WEF, 2023a, World Economic Forum Launches the Centre for Trustworthy Technology, <https://www.weforum.org/press/2023/01/world-economic-forum-launches-the-centre-for-trustworthy-technology/>, (閲覧日：2024年2月22日)。

WEF, 2023b, Quantum Readiness Toolkit: Building a Quantum-Secure Economy, <https://www.weforum.org/publications/quantum-readiness-toolkit-building-a-quantum-secure-economy/>, (閲覧日：2024年2月22日)。

WEF, 2024a, Quantum Economy Blueprint, <https://www.weforum.org/publications/quantum-economy-blueprint/>, (閲覧日：2024年2月22日)。

WEF, 2024b, AI, quantum technologies and drug discovery: 7 key guardrails, <https://www.weforum.org/agenda/2024/02/quantum-computing-ai-and-drug-discovery-7-key-guardrails/>, (閲覧日：2024年2月22日)。

Wynn, M., and Jones, P., 2023, Corporate Digital Responsibility and the Business Implications of Quantum Computing, *Advances in Environmental and Engineering Research*, 4(4), 1-18.

岸本充生・長門裕介, 2022, 量子技術の ELSI (倫理的・法的・社会的課題) に関する文献紹介：2021～2022年を中心に, 大阪大学社会技術共創研究センター『ELSI NOTE』, 24, 1-21.

城山英明, 2023, OECDにおける新たな科学技術イノベーション政策の検討－社会技術システムの移行に向けて, 東京財団政策研究所, <https://www.tkfd.or.jp/research/detail.php?id=4165>, (閲覧日：2024年2月22日)。

内閣府, 2020, 量子技術イノベーション戦略 (最終報告), <https://www8.cao.go.jp/cstp/tougosenryaku/ryoushisenryaku.pdf>, (閲覧日：2024年3月8日)。

内閣府, 2020, バイオ戦略 2020 (基盤的施策),

https://www8.cao.go.jp/cstp/bio/bio2020_honbun.pdf, (閲覧日：2024年3月8日)。

内閣府, 2022, AI戦略2022, <https://www8.cao.go.jp/cstp/tougosenryaku/ryoushisenryaku.pdf>,
(閲覧日：2024年3月8日)。

羽深宏樹, 2023, 『AIガバナンス入門: リスクマネジメントから社会設計まで』, 早川書房。

横山淳, 2021, ソフト・ローとハード・ロー再論～CGコードに基づく開示と法定開示を巡って～,
https://www.dir.co.jp/report/column/20210701_010686.html, (閲覧日：2024年3月8日)。

RRI を量子技術領域へ適用する：政策レビュー

榎本 啄杜	大阪大学 社会技術共創研究センター	特任研究員（常勤）	（2024年3月現在）
長門 裕介	大阪大学 社会技術共創研究センター	特任助教（常勤）	（2024年3月現在）
岸本 充生	大阪大学 社会技術共創研究センター	センター長	（2024年3月現在）

Implementing Responsible Research and Innovation in Quantum Technology: A Policy Review

Takuto Enomoto	Osaka University
Yusuke Nagato	Osaka University
Atsuo Kishimoto	Osaka University

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-8
大阪大学吹田キャンパステクノアライアンス C 棟 6 階
TEL 06-6105-6084
<https://elsi.osaka-u.ac.jp>

