

日本学術会議総合工学委員会
原子力安全に関する分科会主催

原子力総合シンポジウム2022

「新たな社会状況に貢献する原子力技術の期待と課題」

継続的イノベーションの検討

令和5年1月26日

松岡 猛 (宇都宮大学、日本学術会議特任連携会員)

はじめに

- ◆ 東北地方太平洋沖地震に伴う巨大津波によって引き起こされた福島第一原子力発電所事故は**想定外で予期できぬものであったのか？**
 - ◆ 原子力事故対応分科会 報告「東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓」2014年
 - ◆ 記録「東京電力福島第一原子力発電所1号機において発生した事故事象の検討」2014年
 - ◆ 記録「東京電力福島第一原子力発電所において発生した事故事象の検討（続報）」2016年
 - ◆ 吉田至孝、宮野廣「福島第一原発事故は従前の津波対策で予防できたか—事故以前の想定津波高さ評価と東電の対応の考察—」日本原子力学会誌2018年1月
 - ◆ 報告「我が国の原子力発電所の津波対策—東京電力福島第一原子力発電所事故前の津波対応から得られた課題—」2019年

- ✓ 報告では、既存の知見を組み合わせる（**知の統合**）ことにより、万一敷地を超える津波が発生し発電施設が浸水した場合に、電源設備が喪失して環境に深刻な影響を与えることが推察できたと判断した。
- ✓ 第6期科学技術・イノベーション基本計画においても、自然科学と人文・社会科学を融合し、俯瞰的な視野で物事を捉える「**総合知**」により、人間者社会の総合的理解と課題解決に資することの重要性が指摘されている。
- ✓ 第25期の「**社会のための継続的イノベーション検討小委員会**」では新知見の扱い、知識基盤の構築、あるいはこれらに基づくイノベーションの実現について検討を進めてきている。

新知見による革新

- ◆ 学問、科学技術の進歩により得られた知見・技術を普く人類共通の財産として活用することは容易なことではない。
 - ◆ 現代社会では技術の高度化と社会の複雑化があいまって、技術—社会の相互作用が顕著になってきている。
 - ◆ 新しい知見・技術の利用や受け入れの過程で社会システムが変化し、その変化した社会システムに適応する形で技術の革新が求められる。
- 技術と社会がお互いに影響を与えつつ、スパイラル的に革新が生じる。

- ◆ スパイラル的に革新が生じるためには、技術が社会と対話しつつ、あるいは社会が技術と対話しつつ**技術を受容・実装する**プロセスが不可欠となる。
- ◆ イノベーションに内在する**リスク**を受容者と推進者との間で**共有する必要**がある。
- ◆ 小委員会では、**エネルギー、環境、感染症**分野に関して**具体的事例**を取り上げ、技術—社会システムとしての**継続的イノベーション**実現のための**重要事項の抽出**を行っている。

継続的イノベーションとは

- ◆ 2006年～2007年にかけて学術会議にイノベーション推進検討委員会が設置される。
- ◆ 2014年には内閣府に総合科学技術・イノベーション会議が設置された。
- ◆ イノベーションを「課題に対する新しい解決方法(input)で、これまでに存在する解決方法より、より高い効果・効率・持続可能性・公平性などのいずれか、これらのうちの複数、あるいは全部を実現(output)し、社会全体に新たな価値(outcome)をもたらすもの」と定義する。

イノベーションとインベンション

- ◆ インベンションは技術的な発明である。
- ◆ インベンションはイノベーションの起点になりうるがイノベーションそのものではない。
- ◆ イノベーションは、新たな価値の創造と**社会の変革**をもたらし、更に**社会の変革が技術にフィードバック**されるプロセスも含むものとする。

エコシステム

- ◆ 技術及び社会が相互作用し共創することは、生態系において多様な生物が相互に依存しながら環境を動的に変化させていくことと類似しており、これを「**エコシステム**」と捉えることが出来る。
- ◆ すなわち、継続的イノベーション実現には、エコシステムについての課題を解決するエコシステムのイノベーションが必要（**背後にある問題意識**）。

継続的イノベーションにおける課題

- ◆ 継続的イノベーションを実現するにあたっての
キーポイントは、**社会のリスク認知**である。
- ◆ リスク認知に関連しての課題
 - (1) **社会のニーズドリブンの新技術開発/新知見導入**
 - (2) **知識基盤の構築過程と妥当性**
 - (3) **知識生産における構造的課題**
 - (4) **ガバナンス**

(1) 社会のニーズドリブンの新技術開発/ 新知見導入

- ◆ 新技術の開発や新知見の導入は社会からのニーズに基づく必要がある。→「受容」と「需要」
- ◆ 従来：技術が先に開発され、社会がそれに合わせ実装される。
- ◆ 今後：社会のニーズが先にあり、それに合わせる形で技術が開発される社会が技術の形を決めるアプローチ。
- ◆ 社会からの受容を決める重要な要素として、新技術や新知見に対する社会のリスク認知がある。

- ◆ 公衆のリスク認知と専門家のリスク認知にギャップがあることは広く知られている。
- ◆ しかし、このギャップを「技術を説明し理解してもらおう」プロセスだけで埋めることは困難であろう。→方法論の検討
- ◆ 危険と安全の間には明確な境界はなく、幅広いグレーゾーンが存在する。
- ◆ このグレーゾーンを許容できる文化、あるいは、これを許容する/許容しないための議論が明示的に行われる文化が、イノベーションと親和性が高い文化であろう。

(2)知識基盤の構築過程と妥当性

- ◆ 科学知識がどのような仕方で妥当なものとして公共的に受け入れられるか。
 - 基礎となっている知識そのものの妥当性
 - どのようなプロセスで知識基盤を構築すべきか
- ◆ 米国：「どこでもないところからの眺め」(view from nowhere)
- ◆ 英国：議論を通じたバランスのとれた判断(balanced judgement)
- ◆ ドイツ：様々な組織間でのコンセンサス→「あらゆるところからの眺め」(view from everywhere)

- ◆ **日本**：専門家の知識に基づくモデルが妥当とされた。
- しかし、福島第一原子力発電所事故以降、変化が加速・顕在化している。
- 妥当とされる知識基盤のモデルについては、まだ**模索が続いている**段階。諸外国のモデルを参考にしつつ、どのようなモデルが適切なかの議論を深めていく必要がある。
- IAEAのInstitutional Strength-in-Depth (**ISiD**)という考え方がある。
- 成熟した関係、対等のコミュニケーション、双方向アプローチを確立する。

(3) 知識生産における構造的課題

- ◆ 知識基盤の構築過程において、構造的に「欠け」が生じる要因がある。
 - ① 先例が間違っているときに先例を踏襲して問題を温存してしまう。
 - ② 複雑性と相互依存性が問題を増幅する。
 - ③ 問題への対応においてその場かぎりの想定による対症療法が増殖する。
 - ④ 責任の所在を不明瞭にする秘密主義がセクターを問わず連鎖する。
- ◆ イノベーションを継続的に行っていくためには、構造災を引き起こす要因を取り除いていく必要がある。

- ◆ **Downer** : 複雑な意思決定システムの中で知見が実際に活用できる状態であったかどうか、がポイントになる。
- ◆ 福島第一原子力発電所事故における津波の新知見導入に関しても、安全対策を実施するための意思決定システムでこの知見を活用できた状態であったかどうか、が重要であった。

- ◆ 新技術・新知見に内在するリスクを社会と共有する必要がある。
- ◆ 存在論的リスク観と構築的リスク観
 - 存在論的リスク観：評価対象には「真のリスク」があり、評価者の知識や評価手法が精緻になればリスク評価の結果が真のリスクに近づいていくとする考え方。
 - 構築的リスク観：ステークホルダー間で議論を重ね、「リスクの相場観」を醸成することによりリスクを共有するという考え方。
- ◆ 構築的リスク観の考え方を知識生産において体系的に取り入れていくことが重要。
- ◆ リスク認知の共有が難しい**低頻度高影響事象**等に対しても有効性があると期待される。

- ◆ 原子力分野でのリスク情報に基づく統合的な意思決定手法(Integrated Risk Informed Decision Making, IRIDM)
 - ステークホルダーとの対話も含めて統合的・多角的な観点から意思決定をする方法。
 - 存在論的リスク観と構築的リスク観を取り入れ、これらを融合する手法であると理解することが出来る。
- ◆ 存在論的リスク観ではリスクを定量評価することから、リスクを低減させる取り組みが主眼になる。
- ◆ 構築的リスク観では、「どのようなリスクがあるか」という枠組みから検討することも多く、リスクを発生させている問題や課題そのものを解消させるという取り組みにもなり得る。

- ◆ リスク評価者以外の幅広い関係者で議論を行う場合、リスク評価の詳細まで情報を共有することは現実問題として困難である。
→ この問題に対する簡易な処方箋はないと考えられるが、知識生産過程における構造的な課題の一つである。
- ◆ 「対話型専門知」は、「貢献型専門知」は有していないが、専門知を必要とするプロジェクトの重要事項を議論できる知識のことである。
- ◆ 「対話型専門知」を有する専門家は、継続的イノベーションにとって必要な人材である。
- ◆ コミュニケーターが介在することにより、知識の伝達過程における単純化が発生し、構築的リスク観の障害になる可能性もある。
- ◆ インベンションに関わる技術者が直接社会と双方向的な対話を行うことも重要であると考えられる。

(4) ガバナンス

- ◆ 技術と社会の相互作用・スパイラルアップにおいて、その推進力は社会のニーズ、それに応じて進む技術の革新がシーズとなる。
- ◆ 誰がどのようにリーダーシップを取って対応すべきであるかは必ずしも自明ではない。
 - 「多様な価値観を認めた上で、それらに対する社会の評価を加味し、かつデータや客観的事実に基づき、解決策の候補を求め、それを社会に問い、一定の合意を形成しつつ実行に移していくと言う段取りである。これは新たなガバナンスと言って良い。」
- ◆ ガバナンスについては学术界のみで課題の解決を行えるわけではなく、今後議論を深める必要がある。

具体的な事例

- ◆ 4つの論点に関連するエネルギー分野の代表的な技術例として→小型モジュラー型原子炉、再生可能エネルギー
- ◆ 不確かさが大きく、社会への影響が極めて大きい低頻度高影響事象の代表例として→巨大火山噴火
- ◆ リスクや社会への影響に関する評価の発生当初の状況から、知識や経験の獲得を通じて社会のリスク認知が変化した事例として→新型コロナウイルス感染症対応

小型モジュラー型原子炉 (Small Modular Reactor, SMR)

(1)社会のニーズドリブンの新技術開発

- ◆ **福島第一原子力発電所事故の教訓**は、現在検討中のSMRの設計概念の基礎となっており、頻度は非常に低くても、放射性物質を大量に外部に放出し周辺に**重大な影響を与える事故を避ける**方針である。
- ◆ SMRの設計概念は、低頻度高影響事象に対し、影響の大きさを**技術的に抑制する取り組み**である。
- ◆ SMRは新しい概念を導入した設計が採用されており、そのような原子力プラントに対する社会的受容性については、十分な議論がなされておらず、**今後の課題**である。

(2)知識基盤の構築過程と妥当性

- ◆ 社会からのフィードバックを適切に取り込みつつ技術開発を進めていく必要がある。
- ◆ 規制当局との意見交換も開発初期から実施することが重要。

(3)知識生産における構造的課題

- ◆ 開発の各段階でステークホルダーと共有しつつ、構築的リスク観の観点からリスクの相場観を構築することが重要になる。
- ◆ 対話型専門知を有する人材をどのように集めるかについては、あらかじめ検討しておく必要がある。

(3)知識生産における構造的課題(続き)

- ◆ **知識に欠けが生じる**ことを前提としておく必要がある。
→ 「どのような事故シナリオかは問わず、炉心損傷を必ず想定して放射性物質の放出防止・低減対策を講ずる」といった考え方。

(4)ガバナンス

- ◆ 達成可能な技術について社会と合意するというプロセスが必要。→ トップダウン的に実行する場合に要求されるガバナンスのあり方については、確立されていない。

再生可能エネルギー

- ◆ 再生可能エネルギーは地球温暖化防止という人類の生存に関わる問題解決のために検討・導入されつつある「課題に対する新しい解決方法(input)」で、社会の持続可能性を目指している。
- ◆ 問題点として、安定的な電源として制御しにくい、大容量電源とならない点がある。地産・地消型のEMIIYシステムでも、ナショナルグリッド等の外部との接続が必要とされ、現状の電力システムとの組み合わせが避けられない。
- ◆ 再生可能エネルギーの社会実装を実現するにあたっては、これらの問題点・課題を克服する必要がある。

(1)社会のニーズドリブンの新技術開発

- ◆ 社会のニーズが先にあり、それに合わせる形で技術が開発されている。
- ◆ 優遇・支援政策が導入者の利益につながるというインセンティブの効果も見逃せない。
- ◆ 今後、状況により、社会的受容の程度が変化する可能性は残っている。グレーゾーンにあるリスクを関係者間で徹底的に議論する場を事前に確立しておくことが必要である。

(2)知識基盤の構築過程と妥当性

- ◆ 技術の妥当性確認は、現在広く社会的にはなされていない状態であるので、議論を通じたバランスのとれた判断がなされる必要がある。
- ◆ 「対話型専門知」を持った多様な視点のステークホルダー間のコミュニケーションを**経常的に実施する体制**を確立することが必要である。
- ◆ 新たに発生する可能性のあるリスクの洗い出しが主要な議論となるであろう。

(3)知識生産における構造的課題

- ◆ 構造的に「欠け」が生じる要因を検討しておくことが必要である。

(4)ガバナンス

- ◆ 既存の電力システム網に組み込み調整・一元管理を必要とする技術的課題がある。
- ◆ 電力網に組み込まれているのは社会のほぼ全世帯であるので、新規技術が、即**社会全体と密接に関係**する初めての例となるのではなかろうか。
- ◆ 再生可能エネルギーを積極的に導入するためには、エネルギー源の適正な配分、発電網の管理、発電量の調整等を行う**全社会的な組織の構築**が望まれる。

巨大火山噴火

- ◆ 万一発生した場合、私達の社会生活に甚大な影響を与えることが想像される自然現象。
- ◆ 発生頻度は過去12万年間に30km³以上の火山噴火は17回発生していて、およそ7,000年に1回の割合となる。
- ◆ 火山研究者の研究成果、事業者の知見、司法の判断、規制の判断、市民の意見等が存在しているがこれらにはかなりの隔たりがある。
- ◆ 巨大火山噴火は極めて稀な事象であり学問的な知見も乏しい、まさに不確実な事象に如何に向き合うかという典型的な事例である。
- ◆ 構築的リスク観に基づき当事者間だけでなく社会全体で問題解決にあたっていくのが妥当と考える。

新型コロナウイルス感染症（COVID-19）

- ◆ 医療・健康と経済とのバランスをはじめとした**多面的なトレードオフ問題**に世界中が悩まされている。
- ◆ 日本では、行動変容を要請する理由や根拠はほとんど明らかにされなかった。実体としては十分に議論する時間をとることができなかった。
- ◆ 2022年現在、**COVID-19に対するリスク認知**は発災当初の2020年と比較して変化してきている。。
- ◆ 市民がリスクにどのように向き合うか**自発的に考え**、行動が変化している（それぞれに最終決定を下している）。

(1)社会のニーズドリブンの新技術開発

- ◆ 社会のニーズが技術開発を後押しした（ニーズドリブンの）イノベーションと考えられる。
- ◆ イノベーションの観点から興味深い点はワクチン開発のスピードの速さである。
- ◆ SARS-CoV-2ウイルスの完全な遺伝子配列がWHOの最初の警告からわずか10日で世界中で利用可能になった。
- ◆ mRNAを用いた全く新しい種類のワクチン開発という新技術開発がなされた。

(3)知識生産における構造的課題

- ◆ ワクチン開発等のイノベーションに関する情報、技術が開示され客観性・妥当性については疑念が持たれることは少ない点で、知識生産の構造的課題が**ほぼ解消**されている。
- ◆ 現在、COVID-19に対するリスクの**相場観が形成**されつつあり、その判断の結果や経験が周囲や今後の判断に影響するという相互作用の下、最終的にはリスクを許容して「**気にしなくなる**」**定常状態**になる過程にあると考えられる。
- ◆ 社会としてのリスクを低減させる政策と同様に、社会の安定につながる（**納得を得られる**）**政策**もあるのではないか。

まとめ（得られた知見の整理）

- 技術の開発過程を最上流から社会と共有すること
- 技術の説明そのものではなく、それを支える知識基盤の妥当性を確認すること
- 評価結果を極度に単純化して「社会への説明」を行わないこと
- 新知見導入や技術開発の複雑なプロセスを社会と共有するための方策(例：リスク情報を活用した統合的な意思決定)の実践を検討する。

まとめ（得られた知見の整理2）

- 対話型専門知を有する人材の育成
- 複雑な意思決定システムの中で知見が実際に活用できる状態であることを確認する。
- IRIDMでは、統合的・多角的な観点から存在論的リスク観と構築的リスク観を取り入れ、これらを融合する。
- リスクの相場観の構築のため、開かれた形で繰り返し意見交換出来るしくみを構築する。

まとめ（得られた知見の整理3）

- ステークホルダー間のコミュニケーションを経常的に実施する体制を（具体的な仕組みとして）確立する。
- 再生可能エネルギーの導入には、全社会的な組織の構築が望ましい。
- 「どんな社会に生きたいか」という点を含めた、リスクに関する対話を普段から行える枠組みづくりが課題。