

Title	責任ある研究・イノベーションのためのプロジェクト マネジメント：NEDO PJ を事例に【訂正版】
Author(s)	藤本，翔一；吉澤，剛
Citation	年次学術大会講演要旨集，31：88-93
Issue Date	2016-11-05
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/14016
Rights	本著作物は研究・イノベーション学会の許可のもとに 掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Research Policy and Innovation Management.
Description	一般講演要旨，本要旨（PDF P.9-P.14）については著 者より訂正の申し出があり，研究・イノベーション学 会が2017年5月29日付けで受領した訂正原稿である。

責任ある研究・イノベーションのためのプロジェクトマネジメント ～NEDO PJ を事例に～

○藤本翔一 (NEDO), 吉澤剛 (大阪大学)

1. 背景

責任ある研究・イノベーション (RRI) とは、幅広い関係者の協働やネットワーク化によって、社会における科学技術の発展を適切なもの、社会的に望ましいものにしていく、開かれたプロセスである[1]。NEDO は、ナショナルイノベーションシステムにおいて、産学官の英知が結集する「結節点」を標榜しており、RRI の理念に共鳴しうる公的研究開発マネジメント機関といえる。しかし、NEDO を対象とした研究や報告は、PJ の成功を製品やサービスの実用化として定義した上で、実用化率の向上に貢献したマネジメント要因を統計的に分析したものがほとんどであり[2][3]、そもそも当該技術の実用化やその過程が社会的望ましさを満たしたものであったのかについては議論がなされてこなかった。

そこで、RRI の実践の観点から、NEDO のプロジェクトマネジメントがナショナルイノベーションシステムにおいてどのような役割を果たすことができているのかを問う。本稿は分かりやすい社会的望ましさの一例として、「安全」をキーワードとした。RRI の議論の射程は広く、安全の議論に収まるものではないが、新技術の社会導入における適切さを測る一つの指標となるだろう。

まず、予備調査として、過去 35 年間の NEDO PJ の計画文書を対象に、安全に関する取組内容を確認する。次に、カーボンナノチューブ (CNT) とサービスロボットの二つの事例調査から、プロジェクトマネジメントの過程における RRI の実践を見出す。

2. 予備調査

NEDO 設立 1980 年以降、35 年間分のプロジェクト (PJ) の研究計画文書を対象に、「安全」の語を検索したⁱ。2003 年の独立行政法人化以降については、各年度に実施する PJ の計画を研究開発項目内容まで記載した「年度計画」ⁱⁱの「技術分野毎の計画」の欄を確認した。多くの PJ は 3～5 年程度実施されることから、偶数年度 (2004-2016) を対象とした。また、2003 年度以前については、「NEDO20 年史」の資料編事業一覧 (事業概要と主な成果 1980-2000 年度) と「NEDO30

年史」の第 2 章 (主要な技術開発、実証・研究と各事業について 2000-2010 年度) を対象とした。

結果、計画文書中に安全の語を含み、新しい技術を社会に導入するために明確に安全性に留意した PJ は 113 件。そのうち、既存の安全性評価方法だけでは不十分であり積極的に新しい方法構築に取り組んだ PJ は 35 件。さらにその新しい安全性評価方法を規制、標準、ガイドラインや手引き、教育プログラムなどの社会で活用するための文書や基準に繋げた PJ は 14 件 (表 1)。以上のバリエーションを確認することが出来た。しかし、これらが RRI の観点に鑑みてどの程度充分なものであるのかは一つ一つ詳細に検討しなければ分からない。本稿では CNT とサービスロボットの事例に注目してみる。

3. 事例調査

3.1 カーボンナノチューブ (CNT)

概要

1991 年に飯島澄男が構造を解明し、以来、CNT は宇宙エレベーターのケーブルや極限に微細な半導体配線など、夢の新素材として注目され続けている。NEDO では 1998 年から現在まで複数の PJ で CNT 実用化のための研究開発を進めてきた。

まず、「炭素系高機能材料技術の研究開発」(1998-2001 年度)では多層ⁱⁱⁱCNT の量産技術開発に昭和電工(株)等が成功した。以降の PJ では、より製造が難しいが素材として高い性能が期待される単層 CNT の開発が中心となった。「ナノカーボン応用製品創製プロジェクト」(2002-5 年度^{iv})では、単層 CNT の大量合成技術、スーパーグロース法を産総研が発明。「カーボンナノチューブキャパシタ開発プロジェクト」(2006-10 年度)では、日本ゼオン(株)と産総研等がスーパーグロース法の実用化研究開発を進めた。「低炭素社会を実現するナノ炭素材料実用化プロジェクト^v」(2010-16 年度)では、技術研究組合単層 CNT 融合新材料研究開発機構 (TASC) ^{vi}をオープンイノベーションの拠点として、PJ 実施機関に限らずサンプル提供を広めながら、量産技術、応用技術、安全性評価技術を合わせて進めている。

2015 年 11 月、遂に日本ゼオン(株)が単層 CNT の

表 1 抽出した 14 件の PJ

	PJ 名	実施期間	規制・法	標準・規格	手引き・その他
1	人間感覚計測応用技術	1990～1998			○
2	固体高分子形燃料電池システム普及基盤整備事業	2000～2004	○	○	
3	化学物質のリスク評価及びリスク評価手法の開発	2001～2006			○
4	携帯用燃料電池技術開発	2003～2005	○	○	
5	水素社会構築共通基盤整備事業	2005～2009	○	○	
6	水素先端科学基礎研究事業	2006～2012			○
7	太陽エネルギー技術研究開発	2008～2014		○	
8	燃料電池システム等実証研究	2009～2010	○		
9	生活支援ロボット実用化プロジェクト	2009～2013			○
10	次世代蓄電池材料評価技術開発	2010～2014			○
11	低炭素社会を実現する革新的カーボンナノチューブ 複合材料開発プロジェクト	2010～2014			○
12	低炭素社会を実現するナノ炭素材料実用化プロジェクト	2010～2016			○
13	リチウムイオン電池応用・実用化先端技術開発事業	2012～2016		○	
14	水素利用技術研究開発事業	2013～2017	○		○

量産のための工場を竣工した^{vii}。今後の製品開発と市場の広がり期待が集まっている。

安全の取組

最初期の PJ「炭素系高機能～」の基本計画においては、CNT は「無害」と表現された。事後評価資料を見ても安全性に関する取組はほとんど見当たらない^{viii}。しかし、2005 年頃にアスベストの発がん性が社会問題化し、2008 年頃からは CNT がアスベストと類似の有害性を及ぼす可能性を報告する研究論文が掲載されるようになった。

そうした中、「ナノ粒子特性評価手法の研究開発」（2006-10 年度）が開始。CNT、酸化チタン等の工業的に製造されるナノスケールの粒子の化学物質としてのリスクの総合的な評価・管理に関する研究開発が進められた。具体的な研究開発項目は次の 4 つ。

- ①工業ナノ粒子のキャラクタリゼーション手法の開発
- ②工業ナノ粒子の暴露評価手法の開発
- ③工業ナノ粒子の有害性評価手法の開発
- ④工業ナノ粒子のリスク評価及び適正管理の考え方の構築

まず①では、試料としてのナノ粒子の特性を明らかにし（キャラクタリゼーション）、②③の研究のための調整手法を確立した。例えば、粒子は一つ一つがばらばらにならずにまとまる性質がある（凝集）。ナノ粒子の特性を評価するためには、試料が分散しているのか凝集しているのかの測定や、分散させるための手法の確立が必要とされる。次に②では、例えば工場内の環境中でどのような状態のナノ粒子がどの程度飛沫しえるのか（暴露）を評価する技術を開発。これによって、

当該環境においてどの程度吸い込んでしまう可能性があるのかを評価できる。③では、動物試験と培養細胞試験の方法を確立するとともに、ヒトへの影響を評価。そして、④では、①②③の結果に加え、各種の現状調査結果及び将来の産業動向の予測を含めて吟味し、最終的な目的である 工業ナノ粒子の適切なリスク評価・リスク管理を行うための提言をまとめた。

研究実施期間中には、情勢変化を受けて幾つかが変更や実施内容の追加が行われた。2007 年には、先の PJ で確立されたスーパードロース法による単層 CNT を有害性評価対象に追加した。2009 年には、研究加速のための追加資金を用いて当初の測定項目にはなかった急性毒性試験と遺伝毒性試験を追加し、有害性評価データの総合的な説得力を強化した。これは、当時の欧米での研究報告が、高い技術力・資金力・時間を要する試料のキャラクタリゼーションが不十分なまま、急性毒性試験、遺伝毒性試験、吸入毒性試験等の多くの有害性評価項目についてデータ取得を急ぐ傾向がみられたことへの対応であった。

「ナノ粒子～」の取組は「低炭素～」に引き継がれ、量産技術、応用技術、そして安全性評価技術が合わさり進む。特に、CNT 等を民間事業者が自主的に安全管理を行うために、安価で簡便な評価手法の確立に取り組んでいる。

成果

「ナノ粒子～」では、ナノ粒子に対するリスクの考え方を提示し、評価手順を確立した上で、基準値を提言するに至った。結果は 3 物質毎に「リスク評価書」としてまとめられ、国内外で広く公開された。

2006 年当時、日本の化学物質の審査は「有害性」

を基準としており、化学物質審査規制法などもこの考え方に基づいていた。しかし、2007年に欧州で導入された REACH (Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals) など、欧米では「有害性」単独ではなく「暴露」も含めた「リスク」をもとにした審査の立場がとられていた。「リスク」は、一般に化学物質の持つ本来的な「有害性」と、化学物質が人体や環境中に出現する「暴露量」の積で表される。この事業は日本においても化学物質を「リスク」の観点で評価すべきとする野心的な事業であった。事後評価においても「(生体影響等の考え方を)他の物質群に拡張する場合には十分な注意が必要」とした上で、「リスク評価の論理を普及させる大きな波及効果をも有した研究」と評価されている。

①～④で確立した評価手順に基づき、CNTの作業環境における許容暴露濃度(時限付き)を 0.03 mg/m³ と提示した。なお、これは比表面積約 1000 m²/g の単層 CNT について得られた値であり、これと比べれば比表面積のかなり低い多層 CNT などこの許容濃度を適用すれば、相当安全度の高い数値となると考えられている。この値は今後 10 年程度で再度見直すべき「時限付き」の値とされた。当時、単層 CNT の量産はどこでも行われていなかったことや、CNT の有害性の研究が進んでいる最中であり今後より確かな試験結果が得られる可能性があることが理由とされる。背景には、不確実性が大きい中でもリスクを管理するための「順応的管理」の考え方があった。

新規材料や新規技術の安全性評価においては不確実性が大きいので、すでに広く使用されている物質の評価に適したリスク評価手法を適用するならば、不確実性係数積が限りなく大きくなり、既存物質や既存材料とのバランスがとれなくなる。そのため、生態リスク管理などにおいて適用されている、順応的管理という考え方を新規物質や新規技術のリスク管理にも導入し、期間を明示したうえで、期限内に得られた新たな科学的知見に基づき見直しを必ず行うことを約束した許容暴露濃度を提案した。リスクにもベネフィットにも大きな不確実性の残る新規技術とうまく付き合っていくための工夫であった。

日本ゼオン(株)へのインタビュー[4]によると、安全性が社会的に懸念される中、まずは実験だけ進めることのできる社内で得るためにこの基準値が参照された。後に、量産工場の竣工に際しても社内了承や工場建設地となる山口県周南市の環境審議会においても参照された。なお、このPJにおいて HEPA フィルターが CNT を十分捕集することが示されたことも、実験設備や工場設備の設計に役立つ重要な知見となった。

また、この PJ の取組は国内外の動向と協調して進められたものであった。

国内については、内閣府総合科学技術会議「ナノテクノロジーの研究開発推進と社会受容に関する基盤開発」(2007-9 年度)のコーディネータを PJ リーダー中西準子氏が務めたことで、各省庁(文科省、厚労省、農水省、環境省、経産省)PJ との連携が進められた。PJ 成果としてリスク評価書を公表した際に、厚労省は労働基準局に設けた「平成 23 年度化学物質のリスク評価検討会」において、「職場に於ける健康障害防止のためのナノマテリアルのリスク評価について」という議題で労働安全衛生法の労働基準局長通達を実態に合わせていくための検討を開始した。ここでは CNT、C60、TiO₂ 等について NEDO PJ で公開したリスク評価書の結果等を踏まえていくこととした。

国外については、OECD や ISO での活動が目立った。OECD は 2006 年に工業ナノ材料のヒト健康及び環境の安全性の側面における国際協力を促進するために、化学品委員会の下に工業ナノ材料作業部会を設置。日本は米国と共同で単層 CNT 等の情報収集と試験を担当することとなり(スポンサーシップ)、この PJ 成果を OECD の取りまとめに反映させた。また、NEDO・産総研・OECD との共同で国際シンポジウム International Symposium on the Risk Assessment of Manufactured Nanomaterials を 2008 年に開催するなど、共同で議論の場を設けた。

ISO では、ナノテクノロジー分野の国際標準化を推進するために専門家委員会 TC229 が 2005 年に設立された。日本からは、さまざまな有害性に関する研究報告がなされる中、そもそもの試料調整(分散液)を統一するための標準の提案がなされ、2016 年発行に至った^{1x}。

「低炭素～」では、量産や応用と共にオープンイノベーション拠点を中心に安全性評価技術を開発したこともあり、評価手法の更なる開発のみならず、技術相談や現場調査に伴う助言なども行われた。事業者の自主安全管理を支援するために、安全性試験手順書と作業環境計測の手引き、CNT 等ナノ材料の安価かつ簡便な自主安全管理手法のためのケーススタディ報告書を公開した。

他にも情報発信に取り組んでいる。産総研、TASC では、nanosafety という HP で最新情報を発信。2015 年、NEDO は「ナノ炭素応用製品ロードマップ」をまとめた。CNT などの利用を促進するために、今後どのような製品に用いられるのかを検討したもので、あわせて安全性評価にかかる世界動向がまとめられている。2016 年 1 月 nano tech 展示会では NEDO ブース内でナノ炭素安全説明コ

一ナーを設け、一般来場者に最新動向を説明。同年5月と7月には、NEDOが「ナノ炭素材料安全性WS」を開催した。ナノ炭素材料の安全性評価技術について、最新動向を共有した上で、PJで取り組んできた研究開発の内容を総括し、成果発信の在り方と今後について検討した。PJ実施者のみならず、内閣府、NBCI（ナノテクビジネス推進協議会）からの出席者があった。

マネジメント上の示唆と今後の課題

新規素材は開発が進められなければ安全について何も分からず、一方安全が分からなければ開発を進めることが出来ない。この袋小路を脱するために、「ナノ粒子〜」PJの順応的管理の工夫による基準値の提案は画期的であった。段階的に安全性評価と開発が進められたことで、日本ゼオン㈱は実験から量産までたどり着くことが出来た。また、一連のNEDO PJでは、量産・応用技術開発と同時並行で安全性評価開発が進められた。安全性を評価すべきサンプルが確実に供給されること、また未知なる素材の挙動の知見を集約しやすい点も有利に働いた。今後、新素材の開発を進める際には、その材料そのものの開発と同時に安全性評価技術開発を進めることが重要となる。

一方、残る課題は、誰が「順応的に管理」し続けるのかという点である。10年後にはその時点の最新の知見をもとに見直すべき時限付きの値として許容暴露濃度は提示されている。しかし、誰がモニタリングし続けるのかは現時点で明らかではない。

CRDSが2016年2月に開催した「ナノテクノロジーのELSI/EHS」WSでは、ナノテクノロジーのイノベーションを推進するために、日本の社会的課題が抽出された。日本ではナノ物質の一つ一つを医薬品のように詳細に承認するようなスキームがないこと、毒学性研究の大学講座やキャリアパスが整っておらず人材が不足していること、社会への説明やコミュニケーションに課題があるとされた[5]。特に、産業界を代表してNBCIからは、ナノ材料を安全に利用することを目的として、省庁横断的な検討会を設けて規制等を検討すべきと提示された。

NEDO PJでは、国内外の動きと協調を図りながら、事業者が自主的に安全を管理するための手法開発や参照基準値を提示するに至った。さらに踏み込んで政府の規制値作りに貢献すべきであるとしたらどのような方法があるのか、あるいは民間活動に委ねていくべきなのか、検討の余地は残る。

3.2 サービスロボット

概要

ロボットは一般的に「センサ、知能・制御系、駆動系の3つの要素技術を有する、知能化した機械システム」[6]と定義される。ロボット開発は1960年代から米国で始まり、産業ロボットの実用化が1980年代に日本で開花した。1990年代から2000年前後にかけて、シーズブッシュではなく、ニーズプルな方針へと転換していく。この流れを受け、NEDOではロボット技術を俯瞰し、ロボット産業の活性化を図るため、2014年に『ロボット白書』を公刊した。そこではロボットを社会実装するためにサービス主導型のロボット設計が重要だと説き、NEDOにおける注力分野であることが強く示唆されている。

安全の取組

「次世代ロボット実用化PJ」（2004-5年度）は愛知万博会場において、対人サービスを提供しながらの技術実証を行うPJであり、安全確保のために(社)日本ロボット工業会に委託して「愛知万博のロボット安全性ガイドライン調査専門委員会」及び「安全性ガイドライン検討WG」が設置された。WGでは、運用の安全への配慮にはロボットの設計のみでは十分といえないことが判明し、万一の事故の際の責任所在や、万博のルールとして義務づけられていた保険適用のあり方などが問題となった。このため「責任・体制WG」を設置して、第三者障害等の保険を設置、運用のためのルールやプログラム、責任体制を構築した。

「人間支援型ロボット実用化基盤技術開発」（2005-7年度）は、福祉介護分野を対象に、より現実のニーズに即したロボットの開発及び実証試験が実施された。PJ開始後、平成18年度推進委員会（2006年10月）にて、人間支援型ロボットの倫理問題と安全性は難しい課題であり、プロジェクト内で専門家による横断的な検討が必要と指摘される。これを受け、調査委託の形で「ロボット倫理問題及び安全性の検討専門委員会」を立ち上げ、ロボット工業会が調査を実施した。PJでは、工学系研究者が倫理問題に不慣れであるところに指導が入ったため、倫理審査は困難を極めた。さらには工学部に倫理委員会が未設置の大学もあり、本PJを契機に設置するという事態も発生。PJの事後評価を担った研究評価分科会では専門委員会の設置など臨機応変なマネジメントは評価されたものの、「安全・倫理については当初から十分に検討して欲しかった」とのコメントが残された。

「サービスロボット市場創出支援事業」（2006-7年度）では、道路交通整理支援ロボットの実用化、

オフィスビル・空港・工場のロボット清掃システム、人共存型の自律搬送ロボットシステム等をモデルケースとして、メーカーとユーザーからなるコンソーシアムに対して NEDO が経費を一部助成する形で促進が図られた。安全については、複数の危険源抽出、安全性確保手法の確立、第三者による安全性評価の実施、基準・ガイドラインの策定、安全性確保手法の対外的な成果公表を実施。安全技術の指導や評価は、図面及びリスクアセスメントシートの審査、実機による確認をもとに安全工学研究所が行った。安全工学研究所は 2002 年に設立された NP0 で、日本機械学会の産業・化学機械と安全部門に SSE (Safety Service Engineering) 研究会を 2010 年 4 月に立ち上げた。

「生活支援ロボット実用化 PJ」(2009-13 年度)では、事業化一歩手前のサービスロボットについて安全技術に関する開発及び試験・認証、国際標準化活動を推進した。安全性検証手法の研究開発は、日本ロボット工業会や製造科学技術センターをはじめとする 7 団体によって実施。ロボットビジネス推進協議会 (2006 年設立) では、安全・規格検討部会プロジェクト対応・規格 WG において本 PJ と連携し、安全関連データの収集・蓄積に加え、ISO に向けた提案及び国際標準化に向けた支援を担った。WG では、幅広く企業に声をかけて参加を募りながら、PJ の狙いなどについて一般市民にもわかりやすい説明に努めるとした[7]。

成果

「次世代ロボット～」におけるロボットの運用責任体制の整備は、以後普及するサービスロボットの取扱いの根幹となったとされる。続く「人間支援型ロボット～」は工学系研究者や大学に対して倫理問題を検討する体制を整えるよう促した点が成果といえよう。「サービスロボット～」は、事後評価で安全性確保に関する設計ガイドラインの作成、サービスロボットとしての ISO 9000 の認証取得につながった例が創出された点が評価されている。「生活支援ロボット～」は事後評価において、パーソナルケアロボットの国際安全規格 ISO13482 の発行を主導したこと、生活支援ロボット安全検証センターを発足させたこと、複数の企業が実際に認証を取得あるいは取得準備していること、さらに PJ メンバーの開発した製品が同規格の認証を得て商品化されたことが高く評価された。本 PJ は「安全や安全認証に関して国のお墨付きがほしい」という民間企業の要請に応える形で進められたが、国家的な事業と連携して戦略的に標準化を進めた実績と、その成果の国際的な影響に大きな期待が示されている。

マネジメント上の示唆と今後の課題

サービスロボットについては、NEDO PJ を通じて中小企業に対して安全面などの認識が広まったほか、産総研が企業同士のハブとして機能した一面もある。また、産総研には標準化に熱意のある者がいたことが、安全検証センターの立ち上げにまでつながったとされる。一方で、福祉機器開発のベンチャー企業が安全認証の取得にかかる高額な経費を重荷と感じている実態も見られる。機器開発においては当初から安全面に関して専門家に相談する必要があるものの、ベンチャーのように開発の実現性も確かではない状況では、どのように安全面に配慮すればよいかは課題である。

今後は、政府全体でのより大きな取組が進む。総理主導で「ロボット革命実現会議」設置 (2014 年 9 月)、「ロボット新戦略」策定 (2015 年 1 月)、戦略の推進母体として「ロボット革命イニシアティブ協議会」の創設 (2015 年 5 月、事務局は：日本機会工業連合会)。今後 5 年間を集中期間とし、官民で 1000 億円をロボット開発に投資し、市場規模の 2.4 兆円化を目指す。研究開発、国際標準化、実証試験場整備、ロボット競技大会の開催、規制改革などが盛り込まれる。

協議会に設けられた 3 つの WG のうちの「ロボットイノベーション WG」は NEDO が中心に事務局機能を担当。この WG には、基盤技術の整備のために「プラットフォームロボット SWG」と「ロボット活用に係る安全基準・ルール SWG」が、そして国際的な競技大会を通じたイノベーションの促進に向け「ロボット国際競技大会 SWG」が設けられた。社会実装のためには技術開発の推進と安全性の検討とを相互に連携させることが重要だが、政府全体の大きなムーブメントの中で NEDO がどのような役割を果たしていくのが課題となる。

4. 考察

RRI の主要な理念を大きく 4 つにまとめ[8][9]、上記の事例に照らして以下のように考察してみる。

① 多様な関係者の関与・参画

CNT では、PJ が各省庁や OECD、ISO と協調的に進められた。また、後継 PJ においては安全性評価手法を産総研および技術研究組合をハブとして PJ 内外のさまざまな企業に広げた。サービスロボットでは、安全性検証手法の研究開発に多様な団体を巻き込んだほか、産総研がハブになって企業連携を進め、ロボットビジネス推進協議会とも連携した。ただし、ベンチャー企業などへの細やかな支援が課題。

② 関係者との応答による研究やイノベーションへの反映

CNT では、順応的リスク管理や許容暴露濃度という考え方が企業や自治体の環境審議会にも参照された。さらに安全性評価の国際標準化にまで取組が広まった。サービスロボットでは、保険適用、大学の倫理委員会設置、学会・NPO・業界団体での安全性評価の取組に加え、産総研等を介して中小企業に安全面への意識が広まった。

③ 熟慮・熟議による幅広い視点の織り込み

CNT では、有害性からリスク、評価と管理の接続という安全に対するアプローチを転換した。順応的管理というプロセスは安全性評価に対する継続的かつ包括的な熟慮を要請している。サービスロボットでは、PJ 途中からのアドホックな安全・倫理面での取組が批判されたように、継続的で制度的な熟議が求められてきた。

④ 将来の技術や社会への展望

CNT では、2008 年頃に有害性への懸念が広まったところで、ベネフィットも考量し、企業の技術開発を必要以上に阻害しないような新しい安全性評価手法を導入した。不確実性に対し段階的、順応的な対応がなされた。サービスロボットでは、それ自体が未来志向性の強い新規技術であるが、安全技術に関する国際標準化活動の推進など、さらに先見的な動きも展開。しかし、特に生活支援ロボットは官需が中心であり市場が十分成熟しておらず、どのように産業化していくかについて、具体的な展望が求められる。たとえば、デンマークではパロのような福祉ロボットについて、経済性評価の実施や免許制度の整備を行い、欧州市場への窓口としての魅力を高めている。一企業では難しい死の谷を越える制度や環境をどう整えるのか、これから NEDO が取り組むべき課題の一つといえる。

謝辞

東京大学名誉教授であり NEDO アドバイザーでもある佐藤知正先生にはこれまでのロボット PJ の経緯をお教え頂いた。また、本研究は日本学術振興会「責任ある研究・イノベーションのための組織と社会」(OSRRIs) プロジェクトの成果の一部である。

参考文献

- [1] 吉澤剛, 責任ある研究・イノベーション : ELSI を越えて(〈特集〉科学技術イノベーション政策の科学), 研究技術計画 28(1), 106-122, 2013-09-30
- [2] 松嶋一成, 青島矢一, 民間 R&D に対する公的支援の間接的波及効果 : NEDO 追跡調査のデータ分析, 研究技術

- 計画 30(3), 221-239, 2015-12-25
 - [3] 加藤智彦, 柴山創太郎, 馬場靖憲, コンソーシアム型研究開発プロジェクトの政策評価 : NEDO 追跡調査の事例分析, 研究技術計画 29(4), 232-248, 2015-04-24
 - [4] NEDO, 「驚異の新素材、単層カーボンナノチューブ世界初の量産工場が稼働」, 実用化ドキュメント, 2016
 - [5] CRDS, 俯瞰ワークショップ報告書 ナノテクノロジー・材料分野 領域別分科会「ナノテクノロジーの ELSI/EHS」/CRDS-FY2016-WR-03
 - [6] ロボット政策研究会, ロボット政策研究会報告書, 2006 年 5 月
 - [7] 産業用ロボット、サービスロボット、その他ロボット関連ニュース, 2009 年 8 月 25 日, 11 月 10 日 robonable.typepad.jp/.m/news/
 - [8] Owen, R., Macnaghten, P. & Stilgoe, J. (2012) Responsible research and innovation: from science in society to science for society, with society. Science and Public Policy 39: 751-760.
 - [9] Stilgoe, J., Owen, R. & Macnaghten, P. (2013) Developing a framework for responsible innovation. Research Policy 42: 1568-1580.
- そのほか、本文は各 PJ の事後評価報告書を参照した。

- ⁱ 対象文書で複数の語を検索した出現数は次。安全 : 942 語、リスク : 619 語、安心 : 151 語、環境影響 : 111 語。
- ⁱⁱ 独立行政法人通則法第 31 条第 1 項に基づき、年度計画(事業運営に関する計画)を毎年度公開している。
- ⁱⁱⁱ CNT は筒状をしており、単層 CNT はストローのように一層からなる。一方、多層 CNT は、二層、三層、・・・と複数の入れ子の筒状である。単層 CNT の製造には、単層のみを選択的に生成する難しさがあつた。
- ^{iv} 2002 年度に 5 年計画で始まった「ナノカーボン技術プロジェクト」は、02 年度途中で発足したフォーカス 21 事業(応用製品の創製による産業競争力強化)の方針により、03 年度から当初予定よりも 1 年間期間を短縮した「カーボンナノチューブ応用製品創製プロジェクト」(05 年度終了)として、応用製品の早期実用化を進めた。
- ^v 2011-13 年度までは「低炭素社会を実現する革新的カーボンナノチューブ複合材料開発プロジェクト」という名称であつたが、14 年度から変更された。また、10 年度には「低炭素社会を実現する超軽量・高強度融合材料開発プロジェクト」として経産省委託事業として開始されたもので、11 年度から当該 NEDO 事業に引き継がれている。
- ^{vi} 発足時の会員は、日本電気(株)、東レ(株)、帝人(株)、日本ゼオン(株)、住友精密工業(株)、大日本印刷(株)、(株)カネカ、尾池工業(株)、(独)産業技術総合研究所(8 企業 1 独法)。理事長は、日本ゼオン(株) 代表取締役社長の古河氏。
- ^{vii} 日本ゼオン(株)にとって、CNT は「カーボンナノチューブキャパシタ開発プロジェクト」への参画を契機とする新規参入分野であつた。当該 PJ のリーダーを務めた日本ゼオン(株)役員荒川氏が、かつて別会社籍時に CNT 研究に従事し重要な特許を取得していたことから、産総研湯村氏が参画を打診。荒川氏にとっては再び、日本ゼオン(株)にとっては初めて、CNT 材料開発を進めることとなつた。
- ^{viii} 唯一、蓄電池・キャパシタ応用製品については爆発安全性の検証がなされていた。
- ^{ix} ISO/TS 19337: ナノ物体固有の毒性を評価するインビトロ試験のためのナノ物体の作業懸濁液の特性(2016 年発行)

要旨訂正

研究・イノベーション学会
事務局

本要旨については著者より訂正の申し出があった。次頁以下が 2017 年 5 月 29 日付けで受領した訂正後原稿である。

責任ある研究・イノベーションのためのプロジェクトマネジメント ～NEDO PJ を事例に～

○藤本翔一 (NEDO), 吉澤剛 (大阪大学)

1. 背景

責任ある研究・イノベーション (RRI) とは、幅広い関係者の協働やネットワーク化によって、社会における科学技術の発展を適切なもの、社会的に望ましいものにしていく、開かれたプロセスである[1]。NEDO は、ナショナルイノベーションシステムにおいて、産学官の英知が結集する「結節点」を標榜しており、RRI の理念に共鳴しうる公的研究開発マネジメント機関といえる。しかし、NEDO を対象とした研究や報告は、PJ の成功を製品やサービスの実用化として定義した上で、実用化率の向上に貢献したマネジメント要因を統計的に分析したものがほとんどであり[2][3]、そもそも当該技術の実用化やその過程が社会的望ましさを満たしたものであったのかについては議論がなされてこなかった。

そこで、RRI の実践の観点から、NEDO のプロジェクトマネジメントがナショナルイノベーションシステムにおいてどのような役割を果たすことができているのかを問う。本稿は分かりやすい社会的望ましさの一例として、「安全」をキーワードとした。RRI の議論の射程は広く、安全の議論に収まるものではないが、新技術の社会導入における適切さを測る一つの指標となるだろう。

まず、予備調査として、過去 35 年間の NEDO PJ の計画文書を対象に、安全に関する取組内容を確認する。次に、カーボンナノチューブ (CNT) とサービスロボットの二つの事例調査から、プロジェクトマネジメントの過程における RRI の実践を見出す。

2. 予備調査

NEDO 設立 1980 年以降、35 年間分のプロジェクト (PJ) の研究計画文書を対象に、「安全」の語を検索したⁱ。2003 年の独立行政法人化以降については、各年度に実施する PJ の計画を研究開発項目内容まで記載した「年度計画」ⁱⁱの「技術分野毎の計画」の欄を確認した。多くの PJ は 3～5 年程度実施されることから、偶数年度 (2004-2016) を対象とした。また、2003 年度以前については、「NEDO20 年史」の資料編事業一覧 (事業概要と主な成果 1980-2000 年度) と「NEDO30

年史」の第 2 章 (主要な技術開発、実証・研究と各事業について 2000-2010 年度) を対象とした。

結果、計画文書中に安全の語を含み、新しい技術を社会に導入するために明確に安全性に留意した PJ は 113 件。そのうち、既存の安全性評価方法だけでは不十分であり積極的に新しい方法構築に取り組んだ PJ は 35 件。さらにその新しい安全性評価方法を規制、標準、ガイドラインや手引き、教育プログラムなどの社会で活用するための文書や基準に繋げた PJ は 14 件 (表 1)。以上のバリエーションを確認することが出来た。しかし、これらが RRI の観点に鑑みてどの程度充分なものであるのかは一つ一つ詳細に検討しなければ分からない。本稿では CNT とサービスロボットの事例に注目してみる。

3. 事例調査

3.1 カーボンナノチューブ (CNT)

概要

1991 年に飯島澄男が構造を解明し、以来、CNT は宇宙エレベーターのケーブルや極限に微細な半導体配線など、夢の新素材として注目され続けている。NEDO では 1998 年から現在まで複数の PJ で CNT 実用化のための研究開発を進めてきた。

まず、「炭素系高機能材料技術の研究開発」(1998-2001 年度)では多層ⁱⁱⁱCNT の量産技術開発に昭和電工^株等が成功した。以降の PJ では、より製造が難しいが素材として高い性能が期待される単層 CNT の開発が中心となった。「ナノカーボン応用製品創製プロジェクト」(2002-5 年度^{iv})では、単層 CNT の大量合成技術、スーパーグロース法を産総研が発明。「カーボンナノチューブキャパシタ開発プロジェクト」(2006-10 年度)では、日本ゼオン^株と産総研等がスーパーグロース法の実用化研究開発を進めた。「低炭素社会を実現するナノ炭素材料実用化プロジェクト^v」(2010-16 年度)では、技術研究組合単層 CNT 融合新材料研究開発機構 (TASC) ^{vi}をオープンイノベーションの拠点として、PJ 実施機関に限らずサンプル提供を広めながら、量産技術、応用技術、安全性評価技術を合わせて進めている。

2015 年 11 月、遂に日本ゼオン^株が単層 CNT の

表 1 抽出した 14 件の PJ

	PJ 名	実施期間	規制・法	標準・規格	手引き・その他
1	人間感覚計測応用技術	1990～1998			○
2	固体高分子形燃料電池システム普及基盤整備事業	2000～2004	○	○	
3	化学物質のリスク評価及びリスク評価手法の開発	2001～2006			○
4	携帯用燃料電池技術開発	2003～2005	○	○	
5	水素社会構築共通基盤整備事業	2005～2009	○	○	
6	水素先端科学基礎研究事業	2006～2012			○
7	太陽エネルギー技術研究開発	2008～2014		○	
8	燃料電池システム等実証研究	2009～2010	○		
9	生活支援ロボット実用化プロジェクト	2009～2013			○
10	次世代蓄電池材料評価技術開発	2010～2014			○
11	低炭素社会を実現する革新的カーボンナノチューブ 複合材料開発プロジェクト	2010～2014			○
12	低炭素社会を実現するナノ炭素材料実用化プロジェクト	2010～2016			○
13	リチウムイオン電池応用・実用化先端技術開発事業	2012～2016		○	
14	水素利用技術研究開発事業	2013～2017	○		○

量産のための工場を竣工した^{vii}。今後の製品開発と市場の広がり期待が集まっている。

安全の取組

最初期の PJ「炭素系高機能～」の基本計画においては、CNT は「無害」と表現された。事後評価資料を見ても安全性に関する取組はほとんど見当たらない^{viii}。しかし、2005 年頃にアスベストの発がん性が社会問題化し、2008 年頃からは CNT がアスベストと類似の有害性を及ぼす可能性を報告する研究論文が掲載されるようになった。

そうした中、「ナノ粒子特性評価手法の研究開発」（2006-10 年度）が開始。CNT、酸化チタン等の工業的に製造されるナノスケールの粒子の化学物質としてのリスクの総合的な評価・管理に関する研究開発が進められた。具体的な研究開発項目は次の 4 つ。

- ①工業ナノ粒子のキャラクタリゼーション手法の開発
- ②工業ナノ粒子の暴露評価手法の開発
- ③工業ナノ粒子の有害性評価手法の開発
- ④工業ナノ粒子のリスク評価及び適正管理の考え方の構築

まず①では、試料としてのナノ粒子の特性を明らかにし（キャラクタリゼーション）、②③の研究のための調整手法を確立した。例えば、粒子は一つ一つがばらばらにならずにまとまる性質がある（凝集）。ナノ粒子の特性を評価するためには、試料が分散しているのか凝集しているのかの測定や、分散させるための手法の確立が必要とされる。次に②では、例えば工場内の環境中でどのような状態のナノ粒子がどの程度飛沫しえるのか（暴露）を評価する技術を開発。これによって、

当該環境においてどの程度吸い込んでしまう可能性があるのかを評価できる。③では、動物試験と培養細胞試験の方法を確立するとともに、ヒトへの影響を評価。そして、④では、①②③の結果に加え、各種の現状調査結果及び将来の産業動向の予測を含めて吟味し、最終的な目的である 工業ナノ粒子の適切なリスク評価・リスク管理を行うための提言をまとめた。

研究実施期間中には、情勢変化を受けて幾つかが変更や実施内容の追加が行われた。2007 年には、先の PJ で確立されたスーパーグロース法による単層 CNT を有害性評価対象に追加した。2009 年には、研究加速のための追加資金を用いて当初の測定項目にはなかった急性毒性試験と遺伝毒性試験を追加し、有害性評価データの総合的な説得力を強化した。これは、当時の欧米での研究報告が、高い技術力・資金力・時間を要する試料のキャラクタリゼーションが不十分なまま、急性毒性試験、遺伝毒性試験、吸入毒性試験等の多くの有害性評価項目についてデータ取得を急ぐ傾向がみられたことへの対応であった。

「ナノ粒子～」の取組は「低炭素～」に引き継がれ、量産技術、応用技術、そして安全性評価技術が合わさり進む。特に、CNT 等を民間事業者が自主的に安全管理を行うために、安価で簡便な評価手法の確立に取り組んでいる。

成果

「ナノ粒子～」では、ナノ粒子に対するリスクの考え方を提示し、評価手順を確立した上で、基準値を提言するに至った。結果は 3 物質毎に「リスク評価書」としてまとめられ、国内外で広く公開された。

2006 年当時、日本の化学物質の審査は「有害性」

を基準としており、化学物質審査規制法などもこの考え方に基づいていた。しかし、2007年に欧州で導入された REACH (Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals) など、欧米では「有害性」単独ではなく「暴露」も含めた「リスク」をもとにした審査の立場がとられていた。「リスク」は、一般に化学物質の持つ本来的な「有害性」と、化学物質が人体や環境中に出現する「暴露量」の積で表される。この事業は日本においても化学物質を「リスク」の観点で評価すべきとする野心的な事業であった。事後評価においても「(生体影響等の考え方を)他の物質群に拡張する場合には十分な注意が必要」とした上で、「リスク評価の論理を普及させる大きな波及効果をも有した研究」と評価されている。

①～④で確立した評価手順に基づき、CNTの作業環境における許容暴露濃度(時限付き)を 0.03 mg/m³ と提示した。なお、これは比表面積約 1000 m²/g の単層 CNT について得られた値であり、これと比べれば比表面積のかなり低い多層 CNT などこの許容濃度を適用すれば、相当安全度の高い数値となると考えられている。この値は今後 10 年程度で再度見直すべき「時限付き」の値とされた。当時、単層 CNT の量産はどこでも行われていなかったことや、CNT の有害性の研究が進んでいる最中であり今後より確かな試験結果が得られる可能性があることが理由とされる。背景には、不確実性が大きい中でもリスクを管理するための「順応的管理」の考え方があった。

新規材料や新規技術の安全性評価においては不確実性が大きいので、すでに広く使用されている物質の評価に適したリスク評価手法を適用するならば、不確実性係数積が限りなく大きくなり、既存物質や既存材料とのバランスがとれなくなる。そのため、生態リスク管理などにおいて適用されている、順応的管理という考え方を新規物質や新規技術のリスク管理にも導入し、期間を明示したうえで、期限内に得られた新たな科学的知見に基づき見直しを必ず行うことを約束した許容暴露濃度を提案した。リスクにもベネフィットにも大きな不確実性の残る新規技術とうまく付き合っていくための工夫であった。

日本ゼオン(株)へのインタビュー[4]によると、安全性が社会的に懸念される中、まずは実験だけ進めることの了承を社内でするためにこの基準値が参照された。後に、量産工場の竣工に際しても社内了承や工場建設地となる山口県周南市の環境審議会においても参照された。なお、このPJにおいて HEPA フィルターが CNT を十分捕集することが示されたことも、実験設備や工場設備の設計に役立つ重要な知見となった。

また、この PJ の取組は国内外の動向と協調して進められたものであった。

国内については、内閣府総合科学技術会議「ナノテクノロジーの研究開発推進と社会受容に関する基盤開発」(2007-9 年度)のコーディネータを PJ リーダー中西準子氏が務めたことで、各省庁(文科省、厚労省、農水省、環境省、経産省)PJ との連携が進められた。PJ 成果としてリスク評価書を公表した際に、厚労省は労働基準局に設けた「平成 23 年度化学物質のリスク評価検討会」において、「職場に於ける健康障害防止のためのナノマテリアルのリスク評価について」という議題で労働安全衛生法の労働基準局長通達を実態に合わせていくための検討を開始した。ここでは CNT、C60、TiO₂ 等について NEDO PJ で公開したリスク評価書の結果等を踏まえていくこととした。

国外については、OECD や ISO での活動が目立った。OECD は 2006 年に工業ナノ材料のヒト健康及び環境の安全性の側面における国際協力を促進するために、化学品委員会の下に工業ナノ材料作業部会を設置。日本は米国と共同で単層 CNT 等の情報収集と試験を担当することとなり(スポンサーシップ)、この PJ 成果を OECD の取りまとめに反映させた。また、NEDO・産総研・OECD との共同で国際シンポジウム International Symposium on the Risk Assessment of Manufactured Nanomaterials を 2008 年に開催するなど、共同で議論の場を設けた。

ISO では、ナノテクノロジー分野の国際標準化を推進するために専門家委員会 TC229 が 2005 年に設立された。日本からは、さまざまな有害性に関する研究報告がなされる中、そもそもの試料調整(分散液)を統一するための標準の提案がなされ、2016 年発行に至った¹³⁾。

「低炭素～」では、量産や応用と共にオープンイノベーション拠点を中心に安全性評価技術を開発したこともあり、評価手法の更なる開発のみならず、技術相談や現場調査に伴う助言なども行われた。事業者の自主安全管理を支援するために、安全性試験手順書と作業環境計測の手引き、CNT 等ナノ材料の安価かつ簡便な自主安全管理手法のためのケーススタディ報告書を公開した。

他にも情報発信に取り組んでいる。産総研、TASC では、nanosafety という HP で最新情報を発信。2015 年、NEDO は「ナノ炭素応用製品ロードマップ」をまとめた。CNT などの利用を促進するために、今後どのような製品に用いられるのかを検討したもので、あわせて安全性評価にかかる世界動向がまとめられている。2016 年 1 月 nano tech 展示会では NEDO ブース内でナノ炭素安全説明コ

ーナを設け、一般来場者に最新動向を説明。同年5月と7月には、NEDOが「ナノ炭素材料安全性WS」を開催した。ナノ炭素材料の安全性評価技術について、最新動向を共有した上で、PJで取り組んできた研究開発の内容を総括し、成果発信の在り方と今後について検討した。PJ実施者のみならず、内閣府、NBCI（ナノテクビジネス推進協議会）からの出席者があった。

マネジメント上の示唆と今後の課題

新規素材は開発が進められなければ安全について何も分からず、一方安全が分からなければ開発を進めることが出来ない。この袋小路を脱するために、「ナノ粒子〜」PJの順応的管理の工夫による基準値の提案は画期的であった。段階的に安全性評価と開発が進められたことで、日本ゼオン㈱は実験から量産までたどり着くことが出来た。また、一連のNEDO PJでは、量産・応用技術開発と同時並行で安全性評価開発が進められた。安全性を評価すべきサンプルが確実に供給されること、また未知なる素材の挙動の知見を集約しやすい点も有利に働いた。今後、新素材の開発を進める際には、その材料そのものの開発と同時に安全性評価技術開発を進めることが重要となる。

一方、残る課題は、誰が「順応的に管理」し続けるのかという点である。10年後にはその時点の最新の知見をもとに見直すべき時限付きの値として許容暴露濃度は提示されている。しかし、誰がモニタリングし続けるのかは現時点で明らかではない。

CRDSが2016年2月に開催した「ナノテクノロジーのELSI/EHS」WSでは、ナノテクノロジーのイノベーションを推進するために、日本の社会的課題が抽出された。日本ではナノ物質の一つ一つを医薬品のように詳細に承認するようなスキームがないこと、毒学性研究の大学講座やキャリアパスが整っておらず人材が不足していること、社会への説明やコミュニケーションに課題があるとされた[5]。特に、産業界を代表してNBCIからは、ナノ材料を安全に利用することを目的として、省庁横断的な検討会を設けて規制等を検討すべきと提示された。

NEDO PJでは、国内外の動きと協調を図りながら、事業者が自主的に安全を管理するための手法開発や参照基準値を提示するに至った。さらに踏み込んで政府の規制値作りに貢献すべきであるとしたらどのような方法があるのか、あるいは民間活動に委ねていくべきなのか、検討の余地は残る。

3.2 サービスロボット 概要

ロボットは一般的に「センサ、知能・制御系、駆動系の3つの要素技術を有する、知能化した機械システム」[6]と定義される。ロボット開発は1960年代から米国で始まり、産業ロボットの実用化が1980年代に日本で開花した。1990年代から2000年前後にかけて、シーズブッシュではなく、ニーズプルな方針へと転換していく。この流れを受け、NEDOではロボット技術を俯瞰し、ロボット産業の活性化を図るため、2014年に『ロボット白書』を公刊した。そこではロボットを社会実装するためにサービス主導型のロボット設計が重要だと説き、NEDOにおける注力分野であることが強く示唆されている。

安全の取組

「次世代ロボット実用化PJ」（2004-5年度）は愛知万博会場において、対人サービスを提供しながらの技術実証を行うPJであり、安全確保のために(社)日本ロボット工業会に委託して「愛知万博のロボット安全性ガイドライン調査専門委員会」及び「安全性ガイドライン検討WG」が設置された。WGでは、運用の安全への配慮にはロボットの設計のみでは十分といえないことが判明し、万一の事故の際の責任所在や、万博のルールとして義務づけられていた保険適用のあり方などが問題となった。このため「責任・体制WG」を設置して、第三者障害等の保険を設置、運用のためのルールやプログラム、責任体制を構築した。

「人間支援型ロボット実用化基盤技術開発」（2005-7年度）は、福祉介護分野を対象に、より現実のニーズに即したロボットの開発及び実証試験が実施された。PJ開始後、平成18年度推進委員会（2006年10月）にて、人間支援型ロボットの倫理問題と安全性は難しい課題であり、プロジェクト内で専門家による横断的な検討が必要と指摘される。これを受け、調査委託の形で「ロボット倫理問題及び安全性の検討専門委員会」を立ち上げ、ロボット工業会が調査を実施した。PJでは、工学系研究者が倫理問題に不慣れであるところに指導が入ったため、倫理審査は困難を極めた。さらには工学部に倫理委員会が未設置の大学もあり、本PJを契機に設置するという事態も発生。PJの事後評価を担った研究評価分科会では専門委員会の設置など臨機応変なマネジメントは評価されたものの、「安全・倫理については当初から十分に検討して欲しかった」とのコメントが残された。

「生活支援ロボット実用化PJ」（2009-13年度）では、事業化一歩手前のサービスロボットについて安全技術に関する開発及び試験・認証、国際標準化活動を推進した。安全性検証手法の研究開発は、日本ロボット工業会や製造科学技術センターをはじめとする7団体によって実施。ロボットビジネス推進協議会（2006年設立）では、安全・規格検討部会プロジェクト対応・規格WGにおいて本PJと連携し、安全関連データの収集・蓄積に加え、ISOに向けた提案及び国際標準化に向けた支援を担った。WGでは、幅広く企業に声をかけて参加を募りながら、PJの狙いなどについて一般市民にもわかりやすい説明に努めるとした[7]。

成果

「次世代ロボット〜」におけるロボットの運用責任体制の整備は、以後普及するサービスロボットの取扱いの根幹となつたとされる。続く「人間支援型ロボット〜」は工学系研究者や大学に対して倫理問題を検討する体制を整えるよう促した点が成果といえよう。「生活支援ロボット〜」は事後評価において、パーソナルケアロボットの国際安全規格ISO13482の発行を主導したこと、生活支援ロボット安全検証センターを発足させたこと、複数の企業が実際に認証を取得あるいは取得準備していること、さらにPJメンバーの開発した製品が同規格の認証を得て商品化されたことが高く評価された。本PJは「安全や安全認証に関して国のお墨付きがほしい」という民間企業の要請に応える形で進められたが、国家的な事業と連携して戦略的に標準化を進めた実績と、その成果の国際的な影響に大きな期待が示されている。

マネジメント上の示唆と今後の課題

サービスロボットについては、NEDO PJを通じて中小企業に対して安全面などの認識が広まったほか、産総研が企業同士のハブとして機能した一面もある。また、産総研には標準化に熱意のある者がいたことが、安全検証センターの立ち上げにまでつながったとされる。一方で、福祉機器開発のベンチャー企業が安全認証の取得にかかる高額な経費を重荷と感じている実態も見られる。機器開発においては当初から安全面に関して専門家に相談する必要があるものの、ベンチャーのように開発の実現性も確かではない状況では、どのように安全面に配慮すればよいかは課題である。

今後は、政府全体でのより大きな取組が進む。総理主導で「ロボット革命実現会議」設置（2014年9月）、「ロボット新戦略」策定（2015年1月）、

戦略の推進母体として「ロボット革命イニシアティブ協議会」の創設（2015年5月、事務局は：日本機会工業連合会）。今後5年間を集中期間とし、官民で1000億円をロボット開発に投資し、市場規模の2.4兆円化を目指す。研究開発、国際標準化、実証試験場整備、ロボット競技大会の開催、規制改革などが盛り込まれる。

協議会に設けられた3つのWGのうちの「ロボットイノベーションWG」はNEDOが中心に事務局機能を担当。このWGには、基盤技術の整備のために「プラットフォームロボットSWG」と「ロボット活用に係る安全基準・ルールSWG」が、そして国際的な競技大会を通じたイノベーションの促進に向け「ロボット国際競技大会SWG」が設けられた。社会実装のためには技術開発の推進と安全性の検討とを相互に連携させることが重要だが、政府全体の大きなムーブメントの中でNEDOがどのような役割を果たしていくのが課題となる。

4. 考察

RRIの主要な理念を大きく4つにまとめ[8][9]、上記の事例に照らして以下のように考察してみる。

① 多様な関係者の関与・参画

CNTでは、PJが各省庁やOECD、ISOと協調的に進められた。また、後継PJにおいては安全性評価手法を産総研および技術研究組合をハブとしてPJ内外のさまざまな企業に広げた。サービスロボットでは、安全性検証手法の研究開発に多様な団体を巻き込んだほか、産総研がハブになって企業連携を進め、ロボットビジネス推進協議会とも連携した。ただし、ベンチャー企業などへの細やかな支援が課題。

② 関係者との応答による研究やイノベーションへの反映

CNTでは、順応的リスク管理や許容暴露濃度という考え方が企業や自治体の環境審議会にも参照された。さらに安全性評価の国際標準化にまで取組が広まった。サービスロボットでは、保険適用、大学の倫理委員会設置、学会・NPO・業界団体での安全性評価の取組に加え、産総研等を介して中小企業に安全面への意識が広まった。

③ 熟慮・熟議による幅広い視点の織り込み

CNTでは、有害性からリスク、評価と管理の接続という安全に対するアプローチを転換した。順応的管理というプロセスは安全性評価に対する継続的かつ包括的な熟慮を要請している。サービスロボットでは、PJ途中からのアドホックな安全・倫理面での取組が批判されたように、継続的

で制度的な熟議が求められてきた。

④ 将来の技術や社会への展望

CNT では、2008 年頃に有害性への懸念が広まったところで、ベネフィットも考量し、企業の技術開発を必要以上に阻害しないような新しい安全性評価手法を導入した。不確実性に対し段階的、順応的な対応がなされた。サービスロボットでは、それ自体が未来志向性の強い新規技術であるが、安全技術に関する国際標準化活動の推進など、さらに先見的な動きも展開。しかし、特に生活支援ロボットは官需が中心であり市場が十分成熟しておらず、どのように産業化していくかについて、具体的な展望が求められる。たとえば、デンマークではパロのような福祉ロボットについて、経済性評価の実施や免許制度の整備を行い、欧州市場への窓口としての魅力を高めている。一企業では難しい死の谷を越える制度や環境をどう整えるのか、これから NEDO が取り組むべき課題の一つといえる。

謝辞

東京大学名誉教授であり NEDO アドバイザーでもある佐藤知正先生にはこれまでのロボット PJ の経緯をお教え頂いた。また、本研究は日本学術振興会「責任ある研究・イノベーションのための組織と社会」(OSRRIs) プロジェクトの成果の一部である。

参考文献

- [1] 吉澤剛, 責任ある研究・イノベーション : ELSI を越えて(〈特集〉科学技術イノベーション政策の科学), 研究技術計画 28(1), 106-122, 2013-09-30
- [2] 松嶋一成, 青島矢一, 民間 R&D に対する公的支援の間接的波及効果 : NEDO 追跡調査のデータ分析, 研究技術計画 30(3), 221-239, 2015-12-25
- [3] 加藤智彦, 柴山創太郎, 馬場靖憲, コンソーシアム型研究開発プロジェクトの政策評価 : NEDO 追跡調査の事例分析, 研究技術計画 29(4), 232-248, 2015-04-24
- [4] NEDO, 「驚異の新素材、単層カーボンナノチューブ世界初の量産工場が稼働」, 実用化ドキュメント, 2016
- [5] CRDS, 俯瞰ワークショップ報告書 ナノテクノロジー・材料分野 領域別分科会「ナノテクノロジーの ELSI/EHS」/CRDS-FY2016-WR-03
- [6] ロボット政策研究会, ロボット政策研究会報告書, 2006 年 5 月
- [7] 産業用ロボット、サービスロボット、その他ロボット関連ニュース, 2009 年 8 月 25 日, 11 月 10 日 robonable.typead.jp/.m/news/
- [8] Owen, R., Macnaghten, P. & Stilgoe, J. (2012) Responsible research and innovation: from science in society to science for society, with society. Science and Public Policy 39: 751-760.
- [9] Stilgoe, J., Owen, R. & Macnaghten, P. (2013)

Developing a framework for responsible innovation. Research Policy 42: 1568-1580.

そのほか、本文は各 PJ の事後評価報告書を参照した。

- i 対象文書で複数の語を検索した出現数は次。安全 : 942 語、リスク : 619 語、安心 : 151 語、環境影響 : 111 語。
- ii 独立行政法人通則法第 31 条第 1 項に基づき、年度計画(事業運営に関する計画)を毎年度公開している。
- iii CNT は筒状をしており、単層 CNT はストローのように一層からなる。一方、多層 CNT は、二層、三層、・・・と複数の入れ子の筒状である。単層 CNT の製造には、単層のみを選択的に生成する難しさがあつた。
- iv 2002 年度に 5 年計画で始まった「ナノカーボン技術プロジェクト」は、02 年度途中に発足したフォーカス 2 1 事業(応用製品の創製による産業競争力強化)の方針により、03 年度から当初予定よりも 1 年間期間を短縮した「カーボンナノチューブ応用製品創製プロジェクト」(05 年度終了)として、応用製品の早期実用化を進めた。
- v 2011-13 年度までは「低炭素社会を実現する革新的カーボンナノチューブ複合材料開発プロジェクト」という名称であったが、14 年度から変更された。また、10 年度には「低炭素社会を実現する超軽量・高強度融合材料開発プロジェクト」として経産省委託事業として開始されたもので、11 年度から当該 NEDO 事業に引き継がれている。
- vi 発足時の会員は、日本電気(株)、東レ(株)、帝人(株)、日本ゼオン(株)、住友精密工業(株)、大日本印刷(株)、(株)カネカ、尾池工業(株)、(独)産業技術総合研究所(8 企業 1 独法)。理事長は、日本ゼオン(株) 代表取締役社長の古河氏。
- vii 日本ゼオン(株)にとって、CNT は「カーボンナノチューブキャパシタ開発プロジェクト」への参画を契機とする新規参入分野であった。当該 PJ のリーダーを務めた日本ゼオン(株)役員荒川氏が、かつて別会社で在籍時に CNT 研究に従事し重要な特許を取得していたことから、産総研湯村氏が参画を打診。荒川氏にとっては再び、日本ゼオン(株)にとっては初めて、CNT 材料開発を進めることとなった。
- viii 唯一、蓄電池・キャパシタ応用製品については爆発安全性の検証がなされていた。
- ix ISO/TS 19337: ナノ物体固有の毒性を評価するインビトロ試験のためのナノ物体の作業懸濁液の特性(2016 年発行)