

科学技術の倫理問題 — 私たちは何をすべきか

The Ethics of Science and Technology

- What should we do ? -

五十嵐 敏郎（博士（工学）金沢大学非常勤講師）

【abstract】

Science and technology ethics issues span a very wide range of fields, including the ethics of organizations that conduct science and technology, the ethics of the purpose of research, and the ethics of individual scientists and engineers. Here, based on the experience of the company and the ongoing “synthetic science of degradation” project at Kanazawa University, ethics for the purpose of research and how to acquire ethics for individual scientists and engineers are presented.

はじめに

前報（科学技術の倫理問題—日本の科学技術の軍事化）では、安倍政権下で日本は軍事大国を目指して着々と計画を進めており、軍事技術の開発でも過去に例を見ない大きな予算を投入しようとしていることを示した。このまま一線を超えて軍事大国化するのか、それとも平和国家として踏みとどまるのか、まさに岐路に差し掛かっている。科学技術に関わる組織の倫理が失われようとしている現在、技術科学者個々人の倫理観を呼び起こして軍学共同路線を防止できるのか、その正念場になっている。

ここでは、科学技術者の倫理観を高める方策として私が考えていることをいくつか述べる。専門家ではない私の手におえる問題ではないので、皆さんから多くのコメントやヒントを得て私の考えを補強していきたいと願っている。

1. トランス・サイエンスを議論する場を広めていく

「トランス・サイエンス」とは、アルヴィン・ワインバーグが 1972 年に提唱した概念で、「科学に問いかけることはできるものの、科学には答えることが出来ない問題」と定義される (Weinberg 1972)。

科学は価値中立的で、そこで発見された真理は新たな知の創造である。従って、科学それ自体は、経済的・社会的な価値をもたらさない。しかし今、科学と政治（社会の意思決定）との両者にまたがっている領域が存在し始め、その領域がトランス・サイエンスである。これからの科学は社会のために存在すべきであり、科学者と市民とが腹を割って話し合う場が必要である（時安 2013.4；池内 2015.1；山口 2016.12）。

2. 専門家のための後期教養教育を行う

日本の科学技術者は、技術と技術のインターフェースや技術と人とのインターフェースでは優れた産物を生み出してきたが、コミュニティとコミュニティのインターフェースの交流では目立った成果を生み出していない。これからは、自らの専門分野を超えて異なるコミュニティ間を往復し、多様な知を結集する能力を身に付ける必要がある。

自らの専門分野を超えて往復する能力は専門家のための教養教育（後期教養教育）によって磨くことができる（藤垣 2015.1）。

3. オープンサイエンスを行う

科学の専門化、ビックサイエンス化、ブラックボックス化に伴い、人々が科学についていけない、科学が縁遠くなっていると言われている。その結果、極端な科学信仰に走ったり、逆に科学不信になったり、疑似科学が流行したりしている（池内 2015.1）。

インターネットの発達で世界中多くの人々がつながるようになり、これからもその流れが加速するだろう。インターネットを介した人々のインターフェースの交流を利用して、科学技術者と専門家でない普通の人々の集合体である社会を結び付ける試みが行われ、オープンサイエンスとして成果を上げ始めている（ニールセン 2013.4）。

著しい成果を生み出した例として「ギャラクシー・ズー」というウェブサイトがある。このサイトには 20 万人以上のオンラインボランティアが参加し、遠隔操作望遠鏡によって自動撮影されて送られてくる銀河の画像をもとに「この銀河は渦巻状ですか、それとも楕円状ですか？」、「渦巻状なら、腕の部分は時計回りに回転していますか、それとも反時計回りですか？」との問いに答えていく。彼らの活動で、「グリーンピース銀河」と呼ばれる全く新しいタイプの銀河を発見したり、クウェーサー・ミラーの最初の実例の発見に貢献した。

4. 量的イノベーションから質的イノベーションへ

これまで、生活者は「利便性の向上」を求め、作る側（生産者）は「生産性の向上」を追求してきた。20 世紀までは「利便性の向上」と「生産性の向上」を指向するイノベーション（量的イノベーション）が主流であった。

科学技術が急速に発展し、モノが溢れている 21 世紀の日本では、新たな生

活スタイルを生みだし新たな文化を創成するというような社会の質的变化に資するイノベーション（質的イノベーション）が求められる。

最新の科学技術の発展は、人間の有する感性や自然観の幅を広げる方向が指向されるべきであり、結果として質的イノベーションが主流になっていくであろう。そのためにも、科学技術者は社会とのつながりを重視する必要がある（田浦 2018.2）。

5. PDCA から CAPD へ

これは、ポリオレフィン業界の再生を目論んで打ち出した概念であるが、広く科学技術者の倫理観の醸成にも役立つのではないかと考える。次世代ポリオレフィン総合研究誌に出稿した中から一部抜き出す（五十嵐 2017.11）。

私たちは新しい製品を開発する際に、調査や顧客のニーズをもとに開発目標を立て（Plan）、研究・開発や試製造を経て製品化し（Do）、上市製品の市場評価を行い（Check）、結果を次の製品開発に生かすこと（Action, Assessment）を行ってきた。PDCA を回すと称して、

現在のプラスチック技術に関する諸問題

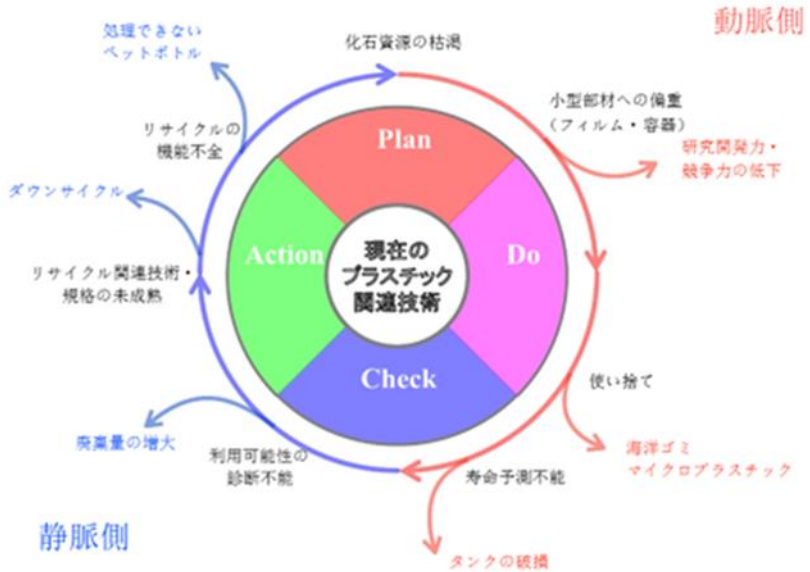


図 1：PDCAサイクル

(新田，比江嶋，五十嵐が作成)

石油文明が安泰である限り、このような開発方針も受け入れられてきた。しかし、繁栄を支えてきた石油文明も、間もなく終焉期が始まるともささやかにはじめた。その時にはポリオレフィン業界もかなり影響を受けると予想され、過去の事例からは予測できない問題に対処するためにはパラダイム破壊型のイノベーションが求められる。

次世代プラスチック技術における
「劣化を総合的に科学する」プロジェクトの役割

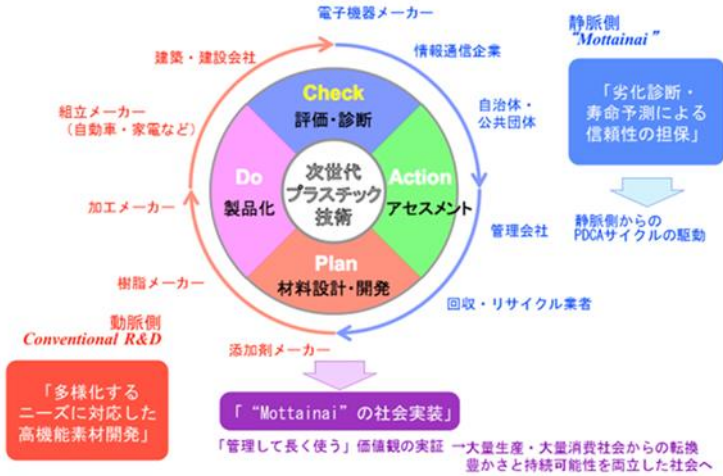


図2：CAPDサイクル

(新田, 比江嶋, 五十嵐が作成)

私たちは解の一つとして、まず最初に Check を行い、Assessment の結果で OK になって初めて Plan を行い Do につなげて製品を開発することの必要性を提唱している。

CAPDサイクルを無視した結果、多くの分野で「本当に技術開発が必要だったのか」と問われ、それに対する解が得られずに倫理観をもった科学技術者が自責の念で苦しんでいるしこれからも苦しむことが予想される。いくつか例を示す。

1) 原子力の平和利用

CAPDを無視した最も分かり易い例である。原発施設は未来永劫維持することが出来ない。高濃度の放射線を浴び続ける原発本体、周辺機器類、配管類

は通常よりも早く劣化する。施設の更新作業に於いて安全が担保されるのかという問い（Check と Assessment）に対して何も回答を持たずに設置計画を決め（Plan）、建設し運転を開始した（Do）。原発は運転し続ける限り、使用済み核燃料棒を生み出し続ける。この処理法も未解決のままであり、「未来世代の科学技術の発展に期待する」という極めて無責任な発想がまかり通っている。

開発に携わった科学技術者は倫理観のかけらも持っていない。そもそも、人類は（脊椎動物も）人工放射線種の出す β 線に対する防御機能は持ち合わせていない。天然放射線種の出す α 線や γ 線に対しては、太い背骨で守られた脊髄の中で免疫細胞を生みだし造血を行うことで防御してきた。原子力という魔力に手を下してはいけなかった。

2) 遺伝子組み換え技術

一旦遺伝子にメスを入れると、未来世代にどのような影響を及ぼすか（Check と Assessment）を十分に考慮せずに、我先にと開発競争を始めている。悪影響が明らかになった時点で The end.である。2017年にほとんど議論されることなく主要作物を守ってきた種子法が廃止され、2018年4月から実施されている。コメも稲作が日本に伝わって以来、その土地の風土や食生活にあった多様な固定種を開発し、種を自家採取して未来世代に引き継いできた。その伝統が、F1種子に置き換えられようとしている（坪内：編集2018.1）。

F1種子は雄しべがないか、雄しべがあっても受粉させる能力のない雄性不稔の種子を用いて作られる。大企業による種子ビジネスの独占を目的として作られた種子であり、開発に携わった研究開発者の倫理観が疑われる。

3) ナノファイバーを利用した製品開発

現在の技術開発の主流は、様々なナノファイバーを含有する熱可塑性樹脂の開発である。ナノでなければ研究ではないという風潮が研究界を席卷している。しかし、NFRP (Nano-Fiber Reinforced Plastics の頭文字を連ねた筆者の造語) の Check と Assessment は十分に行われているのだろうか。NFRP は通常の熱可塑性プラスチックとは異なる劣化挙動を示すと言われる。塩化ビニルは、時間の経過によってほぼ直線的に劣化が進行する。このため、寿命予測がやすく、自動車メーカーの材料技術者には好まれる。一方、PE や PP などのポリオレフィンも、初期には塩化ビニルより劣化の進行が遅いが、ある時間が経つと急に劣化の進行が早まり、材料破壊に至る。寿命予測が不正確になる「ガックリ現象」として嫌われている。NFRP はこれらとは異なる特殊な劣化挙動を示す。初期には劣化がほとんど進行しないが、ある時間が経つと一気に劣化し材料破壊に至る。

NFRP では、機械物性を担保しているのが配向した Nano-Fiber であるが、様々な環境条件で Nano-Fiber が徐々に劣化して繊維長が短くなる。繊維長が限界値以下に短くなると、すでに劣化しているマトリックスポリマーの機械物性を担保できなくなり、一気に劣化が進行するという特徴を持っている。問題は、何が Nano-Fiber の劣化による短繊維化を促進しているのか、ほとんど分かっていないことである。製造時に生じる微細な傷や気泡、様々な段階で受ける衝撃、紫外線や熱による劣化などが通常考えられるが、Nano-Fiber とマトリックスポリマーとの界面積が大きいことと両者の体積膨張率が異なることから、一種の疲労劣化を起こしていることも考えられる。

ボーイング 787 の胴体や翼に採用されたことで、材料としての可能性が膨らんでいるが、航空機用の CFRP (Carbon-Fiber Reinforced Plastics) の製造現場では、全数検査して微細な傷や気泡があると排除し、衝撃を与えない

ように細心の取り扱いで、できるだけ劣化しないような工夫を行っており、直行率が50%以下と言われている。しかし、大量生産によるコストダウンが要求される民生用の自動車ボディでは、初期欠陥を抱えたまま走行し、予告なしに突然ボディが破壊する事故が予想される。

NFRP製のボディを持つ自動車の場合、物理的あるいは心理的な耐用年数が過ぎると廃車される。この場合にも Check と Assessment が不十分なことが問題になる。NFRPのリサイクル技術について様々な研究開発が行われているが、いまだに決定打が見いだせず未完成な状態である。

リサイクル技術が未完成な状態で、NFRPの研究開発を行うべきか、開発に携わる研究開発者の倫理観が問われている。GFRP（Glass-fiber Reinforced Plastics）製のボートで懲りたことを忘れている。

開発当初は夢の材料ともはやされたアスベストによる健康被害が大きな社会問題になっているが、Carbon-Fiber はアスベストに比べて活性が高く、肺の奥まで入れば大きな健康被害を引き起こす（篠原 2013.3）。アスベストに比べて繊維長が長く、肺の奥まで入らないとされているが、劣化により Carbon-Fiber の繊維長が短くなったり、廃車時に加わる衝撃力により繊維長が短くなった場合の問題が先送りされている。

4) 食品長期保存用の多層フィルムの開発

最近の米国で行われた調査では、食品の長期保存を可能にしたハイバリアーフィルムが食品の流通時間の長期化や流通経路の複雑化を可能にし、結果として農場や流通段階での食品ロスを増やしている。

農場から消費者まで10日かかる場合には食品ロス率が40%であるのに対し、農場から消費者まで2日の場合には食品ロス率が5%に低下する（Clear 2017.5）。

これは米国の調査結果であるが、食糧の自給率が著しく低い日本でこそこのような調査を行い、食品流通のあるべき姿を模索することが喫緊の課題である。

食品ロス問題のだけではない。流通時間の長期化や流通経路の複雑化により、食品流通の大企業化と支配力の強化を引き起こし、農業の価格支配力が弱まることで小農業を立いかなくさせ、農業従事者の高齢化と相まって日本の農業を支えてきた小農業を消滅させようとしている。最近社会問題、政治問題になっているマイクロプラスチック問題も、過剰に包装され使い捨てられる食品包装材の削減なしでは解決しない。

食品長期保存用の多層フィルムを開発する研究開発者は、これらの負の問題も考慮して開発に着手するべきであり、研究開発者の倫理観が問われている。

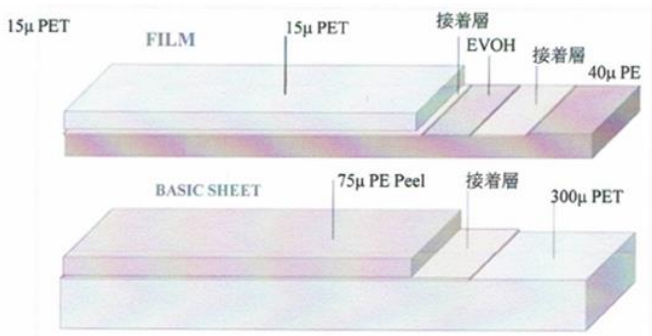


図 3：多層トレー（食品の長期保存が可能）

Edward Kosior, Plasticity-California(2017.5.9) に加筆

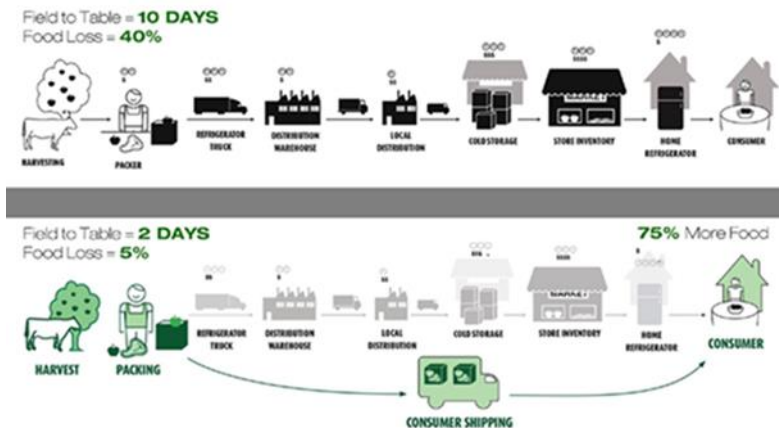


図 4：食品の流通期間と食品ロスの関係

出典：Scott Clear,Plasticity-California,2017.5.9

【参考文献】

Weinberg,Alvin M (1972), “Science and Trans Science”, Minerva Vol.10, p.209.

Clear,S. (2017.5), “Unexpected innovation through design leadership”, Plasticity Anaheim.

五十嵐敏郎他 (2017.11), 「ポリエチレンの劣化機構の評価」, ポリオレフィン総合研究 Vol.11 , p.44.

池内了 (2015.1), 「科学と科学者のあり方」, 山脇直司：編集, “科学・技術と社会倫理”, 東京大学出版会, p.14.

篠原直秀 (2013.3), “ナノ材料のリスク評価のおはなし”, 日本規格協会.

田浦俊春 (2018.2), ” 質的イノベーション時代の思考力”, 勁草書房.

坪内孝彦：編集（2018.1），“日本のお米が消える”，「月刊日本」2018年2月号増刊，K&Kプレス。

時安邦治（2013.4），“科学知のシナリオ化”，“科学化する日常の社会学”第4章，世界思想社，p.148。

ニールセン，マイケル（2013.4），“オープンサイエンス革命”，紀伊国屋書店。

藤垣裕子（2015.1），“技術知と社会知の統合”，山脇直司：編集，“科学・技術と社会倫理”，東京大学出版会，p.14。

山口栄一（2016.12），“イノベーションはなぜ途絶えたか”，ちくま新書，p.146。