

特集

人工物とともに暮らす社会

齊藤了文 関西大学 社会学部

1. はじめに

二つの事例から始める。

ニュートンの運動の3法則があれば、粒子からなる世界はすべて予見可能に思える。摩擦のない平面の物体に力を加えると、等速直線運動をするというのがその法則の事例だ。ただ実際に、テーブルの上でコインをはじいても、そのうち止まってしまう。摩擦があり、テーブルも平面とは言えないからだろう。

もう一つの事例は、ロナルド・コースに由来する、経済学における「会社」の位置づけの提案である。⁽¹⁾コースは、経済においていわば経済的合理的に行為する経済人だけではなく、「会社」が存在する理由を「取引費用」という枠組みを取り入れたモデルを提案することによって提示しようとした。合理的な経済人だけで経済のモデルを作ってきた場合には、会社は特に必要とされなかった。でも、会社は現実の社会の中で多数存在している。

物理学でも、経済学でもそうだったが、現実の複雑な現象を理解するために、抽象的、一般的モデルから進んで、ある種の特殊なモデルを使うことが行われてきた。

テクノロジーの理解についても、科学的合理性を体現したものという一般的理解にとどまるのではなく、その中心となる人工物の姿をうまく捉えなおし、うまいモデルの下に理解の枠組みを作ることが世界、特に技術の世界の理解に資するのではないだろうか。こういう方向から、特に人工物の理解を提示してみたい。

以前私は人工物の特徴として、複雑性に注目してテクノロジーの理解を提示してきた。⁽²⁾そこでのポイントは、複雑性と人間の限定合理性だった。

実は、コースの取引費用も、市場で取引するとき実際に費用が掛かるということを示すものであり、普通の人間は取引のための情報を得るコストをゼロにはできないということ、まず表現するものとなっている。そのために、将来起こることのすべてを見越して、雇用などに関わる契約を完璧に行うことはできない(完備契約が不可能)ということを示している。その場合でも個人より多くの人が組織された会社の方が優位に立つ。

より一般的に表現すれば、この両者とも、現象の複雑性、別の言い方をするとその現象を扱う行為者の限定合理性というポイントを、合理的とされた科学的世界、また古典経済学

の市場へと導入したものとみなすことができる。

以下の議論で、私が提示しようとする論点も、人工物を作る場合にも、科学的合理性とは少し異質な内生的性質があり、それがそれなりに事故の問題やイノベーションの問題、といったテクノロジーの問題とつながっているという点である。

別の言い方をすれば、この世界は本当はどんな姿をしているかという形而上学的な問いではなく、人工物とともに暮らす社会で人工物を理解するためには、17世紀の科学革命に連なる科学理解のモデルではなく、現実によりぴったりの理解のモデルを提示する必要があるだろう。モデル化は、もともと理想化、抽象化であるにしても、そのモデルを外挿してもある程度の、現代の世界理解につながることを目指したい。

以下、第2章で科学における法則の特徴を取り上げ、第3章で、人工物設計モデルの提案を行う。第4章では、このようなモデルの下で人工物を捉えたことによる社会的、哲学的帰結を、少し述べることにする。

2. 科学法則の使い方、科学を応用するとは

原因と結果の関係が分かれば、世界のすべてを理解できるという考えがある。⁽³⁾ニュートンの法則があれば、天上の星の運動も地上のリンゴの落下も同じ法則で理解できる。

ただ、科学の知識を使って人工物を作るのが工学の営為だとして、その場合の科学法則の知識について少し詳細に見ていくことにしよう。

例えば、科学者が自然の真理を発見し、それを使って、技術者、工学者が人工物を作っているとするイメージがある。法則を中心にした考えでは、微分方程式で表現された世界、たぶんニュートン力学よりもシュレディンガー方程式で表現された世界が自然の本当の姿を示しているという考え方がある。こういった科学理論のある世界に生きている。何が実在かはともかくとして、ここではものづくりや工学における自然法則の発見や利用という場面に焦点を当てて、法則の位置づけに関する少し違った視点を取り上げることにする。

機械を設計する技術者にとっては、必須の基礎として4大力学がある。⁽⁴⁾機械力学、材料力学、流体力学、熱力学である。これに対応して、より理学的色彩の強い物理学の教科書シリーズでは、同じような分野を扱うのが、解析力学、量子力学、相対性理論、統計力学といった分類になっている。なお、

力学という表題で、連続体力学（剛体や流体を扱う）が含まれることもある（電磁気学は機械系の必須ではないが）。

一見すると、理学系では、自然の基本となる原子や分子、さらには素粒子などから自然のすべてを理解する物理的枠組みを提示している。世界の数学的枠組みをいわば素粒子から整合的に導こうとしている。世界の基本構造（つまり世界を支配する因果関係）が分かったということに基づいて、物理学という学問を作り上げている。こうなると、因果関係の基本的理解に基づいて、世界にどのような仕方でも介入できそうだ。

それに対して工学系では、流体の事例をポンプなどを使って説明、理解しようとしている。上述の教科書の中では、ポンプといった解の求めやすい例題をあげているとも考えられるが、それ以上に基本的なポイントがあるように思える。

実際、水などの流体に関しては、ナビエ・ストークスの定理で知られる微分方程式で、流体現象の基本的法則が提示されてきた。ナビエ・ストークスの方程式の導出では、 $F=ma$ という運動方程式をつかう。問題は流体なので、小さな箱（検査体積）を想定してそれがどのような力を受けるか、その保存則を考えて方程式を作っていく。実際は液体であり、立体であるために、検査体積にかかる力は、圧力と粘性に関わる力になる。このようなことを考えて、偏微分方程式の形で流体の運動を記述したのがナビエ・ストークスの方程式と言われる。⁽⁵⁾

ここで注目したいポイントは、まず力などの保存式を使っていることだ。

そして、さらにナビエ・ストークスの方程式は解析的に解けないことが知られている。もし解ければ、ある時間が経った場合に、どういふ変化が起こるかといわば数値上も確定できるはずである。石を投げ上げる場合その物体の運動方程式があれば、ある時間後に、そのものがどこにあるかが時間の変数に数値を代入すれば確定するのと同じだろう。もちろん、流体の場合は、初期値、境界値を確定するのも難しい。それに加えて、解析的に解けないために、離散化してコンピュータの数値解法で解くことが行われている。流体力学のシミュレーションが行われている。

ここで、さらに注目したいのは、保存則は、我々の生活上見える程度の保存を扱っているということであり、また、解を求めるために離散化してコンピュータシミュレーションすることは、基本的に近似しているということである。

さて、有限要素法FEMを基本に据えて、奇妙な曲面にかかる力を計算していくことができる。このときでもどのようにメッシュを切ると「良い」シミュレーション結果が出るかというような知見が積み重なって、シミュレーションとしての尤もらしさが確保されるようになってきた。自動車の衝突実験も実物実験をしてきた段階から、数値シミュレーションでできるまでには、多数の実験結果にシミュレーション結果を「適合させる」ことが必要だった。様々なレベルで、近似や外挿を繰り返すことを通じて将来の予測を行っている。ミクロな仕方である一定の力が関わっていることが分かっても（いわば微分方程式、自然法則が発見されても）、そこから直ちに将来の世界を見通すことはなかなかできない。

また、ナビエ・ストークスの方程式は、原理的に原子の運動を表現する波動方程式ではなく、我々がある程度液体として理解できる現象に関わる力学関係を表現する方程式である。そのため普通にマクロに（アボガドロ数程度の）存在する現象が表現できている。

数学を現実に使うことは、一つの面では、数式であらゆる自然現象が表現できることがポイントだというよりも、機械工学においては保存則を基にしてあえて微分方程式を作り上げようとする。ある検査体積にある時点で働く力を確定しようとする。このようにして数学的に表現できれば（微分方程式が書ければ）、そこから由来する数学的帰結を見えるようにできるはずである。

工学では通常、ある程度マクロな方程式を基にして現実の様々な様子を理解しようとする。この一つのポイントは、波動方程式を基にして第一原理に基づいて計算する⁽⁶⁾ののではなく、ある大きさの現象を表現する不変項を見つけ出し、それに関わる力や影響力を考慮して微分方程式を書いた上で何が起こるかを見ようとしているということである。

こういうある程度マクロな微分方程式で書ける現象は、そこでの想定の下で、そこにかかる力関係などが記述されている。想定外の力が外からかかったり、より微小な現象を扱うために、表面張力などの別の力が大きく関わることも生じてくる場合がある。こういった場合には微分方程式を書き換える必要が生じる。全てを波動方程式を基に計算できると、そんな状況依存の方程式は必要ない。ただ實際上、解析的にも、計算量からも、波動方程式からすべてを解明することはできない。

実際上工学においては、自然の世界がすべて波動方程式で記述される、ということに基づいて考えていこうとするのではなく、ある程度の限定された場面（このような形の配管で力がこの方向からかかった場合にどう破断するか、液体の水と気体の水蒸気がまじりあったものが配管の中を動く場合の物体の運動の予測）で微小な物体にどういふ力がかかるかを考えて、そこから何が起こるかを計算しようとする。そして、その計算結果が、実験結果、計測結果と合わなかった場合に、そこから、さらに考えていく。配管としてはこの形のものを使うとすると、そこに起こる破断などを予測することが重要になる。もちろん、実験のミスも、微分方程式の立て方の間違いもありうるので、様々な検討が行われる。数理モデルも計測結果も、配管という人工物に由来する境界条件も変更が可能である。その意味で、理学者の述べる（数学的に表現できる法則といった）「真理」に基づいてその「応用」をやっているわけではない。しかも、複雑な条件の入り組んだ「この配管」を使うことがポイントなので、たとえ理想的配管の場合に何が予測できても、それだけでは意味がないのである。

もう一つ別の視点から、自然法則について見ることにする。法則を見つけるということに向かう研究発表の事例である。

機械学会の学会発表や論文査読などでは、研究結果として現象についてのモデルが何らかの形の数式で表現されている。そこでの質問などを通じて私自身個人的に、工学系の学会において世界を数学的に表現する手法と、その上で計算しやすいうように近似してその数式を使ってくるのを見てきた。

まずこれは、第一原理⁽⁷⁾の方から考えようとする、いい加減なことをしているようにも見える。ただし、現実に役立つような近似をやらなければ、方程式だけでは役に立たない。将来に起こる現象を予測できないと、有用な機械、人工物にはなりえない。力学系の微分方程式は、いわばある時点で検査体積にどのような力が働いているかを示している。力のかかり方が時間的にどう変化するかが分かれば、将来にどうなるかが予測できる。

まず確認すべき点は、第一原理を基にして数式表現をしているのではないということだ。熱流体の流れる配管が破断するという問題を考えて見よう。

ここで問題となるのは、再現可能性であり、測定の限界なども関わる。どういう測定方法をつかうかにも依存する。実際科学法則を役立てようとする、「世界全体」をどう総合的に説明するかというよりも、「ある場面」を数学的にどう表現して、その後を予測できるかがポイントになる。ここでは科学の理解に関しては、人工物を作ることによって焦点を当てている。⁽⁸⁾つまり、科学が役立つということから始めて、考えを進めることになる。⁽⁹⁾

科学的法則の検証という文脈においてはよく言われるように、普遍的法則を個別の実験で完全に正当化できはしない。これは当然だが、法則の正当化の論点は、科学法則が真理かどうかという哲学的、理論的問題には関わる⁽¹⁰⁾が、人工物を作る場合には問題がずれている。普遍法則を科学的に求めているのではなく、この熱流水が通る配管が何千時間も耐久性があるかどうかを実験し、規則性を発見し予測しようとする。

この場合、科学の知識の特徴として、「再現可能性」という特徴が重要になる。再現可能性を示す自然現象は多く、いわば原因が見つかれば結果は合理的に予測できる。少なくとも計測して、そのうえで何が起こるかを予測する必要がある。

中谷宇吉郎は、『科学の方法』において、科学は再現可能な問題しか取り扱えない、と述べている。⁽¹¹⁾そして、再現可能というのは、必要な場合に、必要な手段をとったら、再びそれを出現させることができるということである。

ある配管に液体を流したら、どのような力がかかるか、破断するにはどのような条件が満たされる必要があるか、といった条件を解明する場合には、どのような理論に基づく実験をすべきかは、予測の計算が可能であるなどの条件が必要になるために、これまでの研究成果の積み重ねなどが必要になる。すると、まずわかるのは再現可能性が示される規則性があったとしても、実験的なデータで確かめられた限界内での再現可能性ということである。

つまり、機械工学で使える法則は、普遍妥当な法則が所与のものとして与えられる、ということから始まるのではない。例えばコンビナートなどにある長い配管内の流れを予測して、スムーズな流れになっているとか、破断や劣化が起こりそうな場所はどこかといった予測につながる知見を求めるのがその一つの典型的な事例となる。人工物が先行する。

実際、軽水炉の安全性に関わる沸騰現象の一つの実験結果のプロットについて、小澤守が説明しているように、一応、Hench-Levi's equation を設計上の安全の限界値として用い

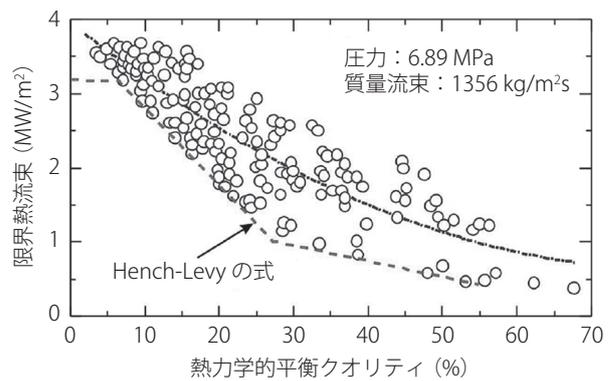


図1：Hench-Levyの式
出典：小澤守氏より原図を提供。

ている。(図1)ただ、ここでのポイントは、データがばらついていて、「実験装置ごとにデータは異なるのは通例であり、運転員、実験者ごとにも異なることがある。このように不確実な（外見上も実質的にも、ただし、いい加減というのではない）状況の中で「決断・決定」をしなければならないのが技術屋の宿命ともいえる。」⁽¹²⁾

一般に管の全体にわたって、渦もなく流れるなら、まだ分かりやすいが、液体と気体が一緒に流れることも普通であり、単純に何が起こるかを解明することは難しい。複雑な条件下での予測がポイントである。そのためうまい実験を行い、うまい計測を行おうとする。特定の条件下で何が起こるかを示す「法則」が与えられているわけでもない。どういう傾向、規則性があるかを実験を工夫して見つけなければならない。

もともと、何らかの法則があるというのではなく、実験によって⁽¹³⁾複雑な現象から傾向を読み取り、それに基づいて予測をするというのが技術者が設計をするということの基本にある。複雑な化学的、物理的影響を受ける配管（コンビナートが典型）が破断しない条件を見つけないのが、設計の制約条件の発見になる。⁽¹⁴⁾

一般に工学は解を求めなくてはならない。基礎科学に基づいて、自然の中にはどのような力が働くかは解明できても、それらが複合した結果何が起こるかはよくわからないことも多い。例えば一般に、ある機械を指定しても、それにかかる力の影響力が、重力が大きいのか、電磁気力が大きいのか、摩擦力が大きいのかはもちろんその状況に依存する。初期値や境界条件に依存する。自然の真理として法則が知られていても、この機械の破壊につながる力を何ほどの程度及ぼすかは、計測された限りでのデータを使って考えるしかない。また実際に何が起こるかは、部分的な実験を多様に組み合わせで確かめるしかない。

さらに一般的に、法則を数学的に、微分方程式として書くことができても、その解を求めること、例えば解析解を求めて、その結果を予想することは難しい。差分方程式に変形して、近似的に数値解法で解くことも行われている。しかし、それでも、カオス理論で述べられているように、初期値の微妙な変化に依存して、帰結が異なることはある。世界は原子でできていて、原子の運動法則が分かっている、多体問題は解けない。3体問題でも難しい。素粒子の運動方程式でも、

その組み合わせでも、様々な近似が行われた後でないと思えない。

さらに少し一般的に考えて、ある想定の下で行われた実験の生のデータを使ってある程度の条件の下で直線（規則性）が書けたとする。（図2）

しかし、その場合にももちろんデータは揺れ動く。チャンピオンデータはあるかもしれない、ここまでなら安全だと見なせるデータもあるかもしれない。

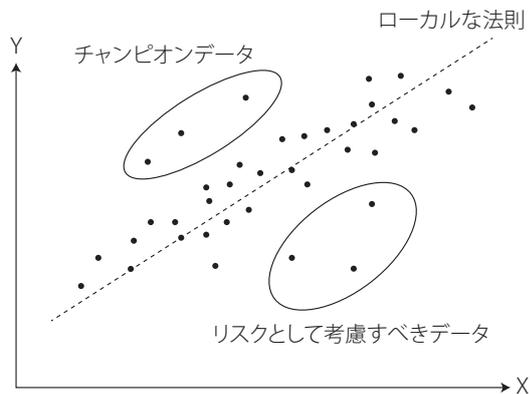


図2：小澤守氏に触発されて筆者が描いた一つのモデル図

この場合に、技術者は、チャンピオンデータについては、何らかのうまい条件の下で得られるものとして、研究開発の目的にする（うまくいけば）こともできる。また、安全データは思いもかけない条件があっても何とか守られる条件（トラブルがあっても使えそう）として解釈されることもある。上記の、Hench-Levi's equationがそれにあたる。

直線で表される規則性があるように見とれる部分が見つかったとしても、実際の実験データを基にするとこのような解釈が行われることになる。

ここでのポイントは、いろいろな法則の影響下に「この配管」の破断する条件を探っているということだ。基本法則からの完璧な演繹はできない。複雑でローカルな規則を求められない。つまり、そこで見つかったその規則性は普遍性からは程遠い。ある境界条件の下で、しかも有限の実験に基づくデータを外挿したものに過ぎない。ただ、それを基にしないと、ものづくりはできない。

これが再現可能性に関わる規則性、いわば「法則」をものづくりに使う方法の一例だ。⁽¹⁵⁾

3. 設計の考え方

3.1 設計と複雑系

科学は進歩しているのに、なぜ事故は無くならないのか。その大きな理由の一つとして、まず複雑性を取り上げる。（もう一つの論点として、次節で、設計と価値についての理解のモデルを提案する。）

また、新たな人工物の研究開発という意味でも、複雑性が効く。（前章では、一群の実験とそこから見つかる規則性の理解を見てきた。これらの規則性をいくつか組み合わせ、やっとのことで長い配管を作り上げるための情報の一部が手に入ることになる。）

さて人工物は、複雑だとは言っても既存の（うまく機能している）人工物をデッドコピーして模倣品を作ることはまだ簡単だ。それを少しでも改良しようとする、何らかの機能を果たす構造などを見つける必要がある。それを実験を通じて改良しようとする。よさそうなアイデアを思いつき、しかもよい結果が出る場合にも、そこに思わぬ副作用が生じないかを確かめることが必要になる。改良点が重要なほど、大きいほど何かのトレードオフが見つかることもあり、改良そのものも容易ではない。⁽¹⁶⁾ もちろん、全く新たな人工物を作ろうとすると、そこで試すべき実験も多く、コストもかかり、さらなる手掛かりも探すのは容易ではない。同じような機械を古くから開発している企業の場合には、つまり技術力のある企業の場合には、様々な手がかりや開発方向が予め見えてくることもあるが、それでも容易な仕事ではない。

例えば、日本のハイブリッド車のエンジンの技術は、中国も欧米もそう簡単にはまねできないほどの技術力の蓄積に由来する。具体的な解の蓄積がないと、人工物として機能しない。もちろん電気自動車や自動運転車は、また別の技術に由来し、具体的な自動車について別の種類の多様な解がなければ、設計へと進むこともできない。複雑な人工物（自動車でも葉でも）は、さらにそれを設計し製品にまで仕上げるには、多くの時間がかかる。（基礎科学の知識は、世界共通であっても）

さて、具体的に複雑性というポイント⁽¹⁷⁾を見ていく。アポロ13は、600万の部品で作られ、普通の自動車は3万点の部品からなる、と言われる。部品の多さは、扱いの難しさに結びつく。つまり、思わぬ事故やトラブルが起こりうる。

包丁やハンマーのような人工物は、道具として自分の手足のように使えるかもしれない。現代のテクノロジーの下で作られている人工物は単純な道具とは違った特徴がある。ここに取り上げた複雑性は、いわば「本質的な」差異を提示するとは思われないかもしれないが、「実際上」有効な差を示すことになる。

前章で見てきたように、ある時点でどういう力がこの物体に働いているかということが、微分方程式などでうまく表現されていても、そこから解を求めないと物体の動きを予測することもできない。この論点は、複雑なシステムに関しては特に大きなポイントとなる。

人工物を設計するということは、システムとして作り上げるということである。そのために、様々な部品がそれぞれうまく機能することがポイントになる。当然部品ごとに、様々な実験を行いその後全体の統合を行って、その全体に対する実証実験も行うことになる。この部品ごとに、かかる圧力はどうかかその限界はどうかといった仕様ははっきりしてくる。それらの知見を踏まえて、全体の設計が行われる。部品から見ると、この圧力とか、この温度以下にしてももらえないとうまく機能が果たせないということがある。使い方によって、その想定を超えることが起こるかどうかを確認する必要もある。

別の言葉を使うと、これらの制約条件がいろいろな仕方ではっきりすることによって、全体の設計が出来上がることになる。部品ごと、さらには部品を組み合わせたものに生じる

物理的傾向（場合によると法則）はある種の制約条件として効くことになる。また、熱や、固体力学や、流体力学などの基本法則を利用して、実験と計算を繰り返して、それぞれ関わる影響をうまく合わせる必要がある。また、システムとして面白いところは、ある部品が熱に弱いことを踏まえると、他の部品を使って、その弱みをサポートする仕方での設計が可能になるということである。

また、人工物の設計では、考慮すべき制約条件が要求が生じる場面に応じて変わってくる。段ボールの箱を椅子として使うとする。水がかかると壊れやすくなるなら、ビニールをかぶせると良い。ぐらぐらしたり、壊れそうなら、板などで補強すればいい。多くの条件を考慮しないといけない場合には、それぞれの条件を満たす機能を与える部品が齟齬を起こさないのかも確認する必要がある。家の中で使う場合と、キャンプで使う場合には、考えるべき条件が異なる。人工物はこのように、ローカルな条件を考慮しつつ作るのがふつうである。

3.2 設計と価値

なぜ道路には様々な種類の自動車が走っているのか。技術的に最適化が進められ、合理的な種類の自動車ができていてもいいはずなのに、単一の車種が走っているわけではない。

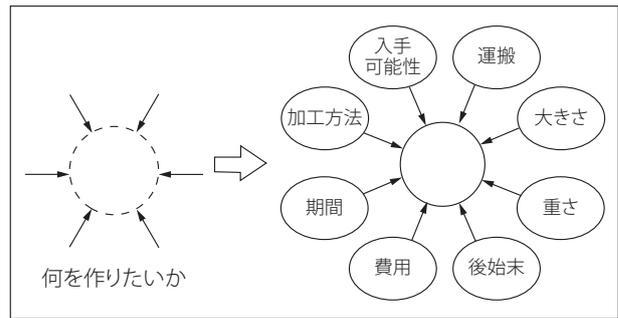
道路を走る乗り物とはいっても、いろいろな部品ごとに様々な実験が行われて、それぞれの段階で最適化は行われているはずである。もちろん、最適化された良い部品を組み合わせてもそれだけではシステムとしてよい製品が作れるとは限らない。それが複雑さに由来するポイントだった。

ここで見ようとするのは、設計における価値の問題である。設計の段階では、どの機能を強調するかといった価値に関わる部分が含まれざるを得ない。その点をいくつかの事例を通じて見ていく。そこで設計を理解するための枠組み、モデルも提示することにする。

物の価値をその値段に基づいて考えることもある。高価なものはそれなりに良いだろう。また、ものづくりにかけた努力や時間などを物の価値とみなすこともできるかもしれない。寝ずに作った夏休みの工作は、尊いものだろう。

しかし、電化製品や建築物、その他普通に生活するために使われる人工物については、少し違った枠組みで考える必要があるだろう。人工物は家電でも橋でもスマホでも、不特定の人によってうまく使えるというのが基本だろう。そのために、再現可能性を目指す科学的知識に基づいて設計が行われる。そのように設計されたものはモノトーンではなく、それなりの価値（どの部分を重視するかという人工物の特徴）が含まれているはずだ。売買の場面よりも、使っていく場面がより重要だろうし、どのようなものを作るかという設計の場面がさらに重要になるだろう。その意味で、人工物に内在的な価値の源泉を設計という営為から取り出してみたい。

畑村洋太郎は、設計の最初の段階で、どういう機能のものを作りたいか、それにはどのような制約条件があるかを具体的に考えていくことが必要だと述べている。⁽¹⁸⁾ (図3) 設計者にとっては、選択肢になる候補を挙げ、それを評価しつつ次第に全体構造へと総合していくことがポイントである。この



制約条件を明らかにする

図3：設計の最初の段階(作りたいモノを明らかにする段階)
出典：畑村洋太郎(2000)『現代工学の基礎1 設計の方法論』岩波講座を元に筆者再作成。

動きを一般的に示そうとしたのが畑村の設計の方法論ということになる。

設計のやり方、方法論の前提となる制約条件にこの小論では注目したい。この小論では、畑村が設計にまつわる制約条件として提示している図を利用しつつ、それを設計における価値に関わる図として、少し解釈を変えて取り上げることにする。⁽¹⁹⁾

ここでの論点は、この制約条件そのものが価値と呼ばれる性質を持つということ、さらには要求という枠組みで、消費者、発注者の価値の表現にもなっているということである。

以下具体的に、幾つかの事例を通じて設計と価値について説明していくが、二つのことに焦点を当てたい。一つは、制約条件という価値は、実際トレードオフを起こすようなものであるということだ。二つ目は、消費者も企業も各自の要求という仕方でも価値を提示するために、人工物の評価とか人工物をつくった人の責任に関しては、作った技術者に責任が限られないこともありうるということだ。

以上の方向性については、この章の最後にまとめ直すことにして、人工物を作ることによって、社会の問題を解決する⁽²⁰⁾、ということをいくつかの具体的事例とともに考えて見る。

3.2.1 通園バスの事例

静岡県牧之原市では2022年9月に保育施設の通園バスに置き去りにされた3歳児が亡くなる事故が起きた。このような事故は世界的に問題となっているために、防止装置の取り付けを義務化する動きが各国で進んでいる。2023年ラスベガスで行われたCES(家電・IT展示会)でも置き去りを防ぐ技術が展示されている。

ここで取り上げるポイントは、問題解決に使用される技術は様々だということである。

村田製作所は、車内に発した電波で、取り残された子供を見つける。子供の頭が数センチ動いたり、呼吸したりしただけで検知が可能ということだ。旭化成は、ミリ波レーダーを使ったシステムを提示する。ミリ波は布などを透過するため、毛布にくるまった子供も見つけられる。⁽²¹⁾ また、車内にカメラなどのモニタリングシステムを付けるということも提案されている。

荷物でなく子供が取り残されることが問題なら、村田製作

所のように何か動きのあるものをとらえることが必要だろう。ただ、その動きが子供なのか、ペットなのか、他の振動なのかを区別しないとアラームだらけになってしまう。その意味で、このアイデアと実用化には距離がある。また、ミリ波レーダーも隠れた子供を見つけるのには役立つだろう。毛布にくるまれているのが、子供なのか、おもちゃなのか、ペットなのかを区別するための、「顔認証」のようなAIシステムが必要になるだろう。実用化は一つの技術のアイデアがあるだけではそう簡単には進まない。

もちろん、バスで乗り降りしているだけなので、乗った人数と降りた人数を数えれば済みそうである。静岡の保育施設でも、そういう報告のシステムは作っていたが、ミスは生じた。しかも、その帰結が重大事故になってしまっていた。

アラームを付けていてもあまりにも敏感に反応する場合にはそのスイッチを切ることもある。防火設備でもスプリンクラーが発動してしまって商品を台無しにすることがないようにセンサーの感度の設定には気を付けている。古い話だが、セコムのコマーシャルをしていた長嶋茂雄さんの家が泥棒に入られたことがあった。長嶋さんもセコムしていたのだが、誤動作が多かったためにスイッチを切っていた、という話が伝わっている。

基本的にある要素技術を使えば、ある種の問題が解決できるということは、様々な技術者によってひらめくことがある。その次の問題は、実装化において様々な要因をどのように按配するかである。

EVの電池における電池切れの問題を考えて見る。

電気自動車EVでは、普通の自動車がガソリンを時々給油する必要があるように、時々充電する必要がある。ただ、給油と比べて充電には時間がかかる。

この問題解決の仕方として、例えば、コンビニやスーパーなどに充電器を備えると、買い物の中に充電が(ある程度)できることになる。これは社会制度を使った、充電時間の問題解決法になっている。どれだけの時間の余裕を見ることが興味深い。別のやり方としては、自宅で夜のうちに充電しておくというのがある。普通にやられているが、ガソリンの給油でのガス欠と同じことが時に起こることは考えておかねばならない。全く別のやり方として、急速充電の技術を進めるというのもある。ただ、それでも給油に比べて時間はかかるか、急速だけに充電器に負荷をかけ、傷めることにもつながるということもある。また、新たな提案として、乾電池を取り換えるように、充電したリチウムイオン電池のパックをそのまま交換するというのもある。これによって交換時間は短くなるが、交換できるような仕様にしておくこと、つまり、ある種の標準化が必要になる。PCでももともとバッテリー交換が簡単にはできないものもあるように。

EVの充電方法に関しても、ちょっと見ただけで、様々なやり方のトレードオフがある。これらのやり方のうちのどれを選ぶかに関しても、どれかを選んだ後でも、それなりのトレードオフの上でEVの充電が行われる。そして、もともとトレードオフ⁽²²⁾を含むためにいろいろな仕方で不具合が生じることが出てくる。

3.2.2 ゼロ戦と自動車の事例

ゼロ戦の設計の事例を取り上げる。⁽²³⁾

海軍から、設計者に要請された要求事項は、主に3つあった。一つは長大な航続力であり、二つ目は旋回性能、空戦性能(20ミリ機銃2丁)であり、三つめは速度500km/hを超えるということである。問題は、速度を上げようとする、燃費は悪くなる。つまり航続力は小さくなる。空戦性能の向上も燃費には悪い影響がある。このようなトレードオフ関係にある制約条件を満たした設計が求められた。設計者堀越二郎は、この制約条件に対する解として軽量化を基本としてゼロ戦を設計した。

設計におけるトレードオフ、つまりあちらを立てればこちらが立たず、ということは様々な場面で出てくる。その按配をどうやって行うかが技術力だともいわれる。

少し違った事例として、自動車の燃費をよくするという改良に着手するとしよう。この場合も、すぐに思いつくやり方として、重量を減らすことがある(エンジンの効率やタイヤの摩擦などその他多様なやり方もある)。ただ、単純にボディの鉄板の厚みを2ミリから1ミリに替えると、燃費には効く。しかし、それによって衝突安全性が悪くなる。一つの制約条件を満たすことによって、他の制約条件にひずみが生じる。技術者はここからさらに考え、軽い材料で衝突安全性を満たせる解を探そうとする。すると、例えばアルミ合金で、構造をうまく考えるとより軽くて衝突安全性も満たす解が見つかりうる。ただ、それでも今度は、コストが問題になるかもしれない。鉄よりもアルミは高価である。このような条件も考えに入れる解はなかなか見つからない。例えば、部分的に強化プラスチックのようなものを使うことを考えることもできるかもしれない。ただ、その場合にも、疲労破壊の起こり方とか、廃車時のリサイクルにおいて、その材料がどのような環境問題を生じるかどうかはすぐには分からない。

このように、材料においても、部品や機能においても、あちらを立てればこちらが立たずということは起こり、それを踏まえたくらうで、制約条件同士の按配を行う。⁽²⁴⁾(ローカルな条件である。どこか別のことに由来するリスクまでもすべて考え尽くすのは非常に難しい。)

技術者の立場から制約条件を取り上げてみると、その様々な制約条件の位置づけが、設計における価値だとみなせる。つまり、どのポイントをより重視するかということを示している。(人工物の設計において、単純に最適解が唯一に決まるということはないのがふつうである。この点はのちに少し触れる。)

3.2.3 ロボコンの事例

さらに、高専ロボコンを取り上げてみる。⁽²⁵⁾ここでは研究開発の一端が示されている。各高専のアイデアの多様性はなかなか面白い。ただ、そこで使う機能をどう実現するかによって、実は速さとか正確性とか頑健性といった特徴が異なる様々なロボットが出来上がる。制約条件は価値として変更も可能であり、そのうちのどれをどのように重視するかは各高専に依存し、その設計のアイデアがロボットの特徴にもなっていく。

しかも、コンテストでは、一つの機能だけでなく、いくつ

かの機能を持たないと問題解決ができない。それらの機能を一つのロボットにおいて作り上げなければならない。素早く動けるということは、停止時の位置決めと的への方向確定に誤差を生じるかもしれない。ある程度の大きさである値段以下で作るというコンテストでの条件がある場合には、トレードオフの按配についてさらに考えを深める必要が生じる。

またコンテストの最中に、電源が抜けたり、電波の受信状態によっては方向の制御ができなくなることもある。このようなトラブルをなくすように、多様な実験、シミュレーションを行う。研究開発する人だけが使うのではなく、一般の人々が使う製品として売り出すためには、より多くの制約条件を設定して、何年もかけて実験を繰り返すことになる。もちろん、途中まで作っても、ある機能が実現できなかったら、手戻りが起こる。新しい自動車の開発に、莫大な費用が必要となるのはそのためだ。

まず、多くの部品を使う。その間の相互作用は複雑である。しかも、化学、電気、機械など多くの分野の専門的知識をつかって作られている。だからこそ、どこかの機能にトラブルが起こると、対策が大変になる。それぞれの部品の専門業者は、その部品については分野に関わらず、多くの知見を持って作り上げている。ただその多様で多量の部品をシステムとしてまとめ上げることも容易ではない。そして、システムとして作り上げても、そこに使われる金属が小さなクラックを含んでいることは容易には検査できない。検査できても、対応できない。このような複雑性に、研究開発では直面する。それを踏まえたうえでアイデアを出して特徴あるロボットを設計することになる。

価値という観点でまとめてみると、ここで述べてきたような制約条件は、どういった点を重視するかというポイントを示しているものとみなせる。⁽²⁶⁾ (図4) つまり、制約条件そのものを価値と表現することもできる。自動車でも、安全をより重視した設計を行うか、コストを重視した設計を行うかといったようなポイントが示されていると見ることもできる。人工物は多様な部品からなるともいえるだけに、どのような制約条件、価値を重視した人工物ができるかということが、設計の基本のポイントとなる。(ロボコンでもゼロ戦でも、競争に勝つという目的、価値の下で人工物は作られている。ただその大きな価値が単純に設計解に効いているわけでもないことにも、注目すべきだろう。)

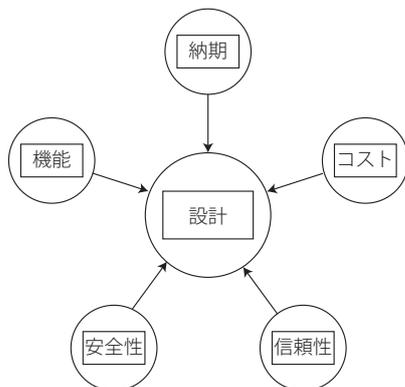


図4：設計の図(基本)

さて、ここまでの事例を踏まえて、この節の基本的な問題設定に戻る。

科学が進歩し、最適化もできるはずなのに、多くの種類の自動車がなぜ走っているのか。

科学的、合理的時代ではすべての人が効率、速さといったものを求める、と言われることもある。ただ、大きいことはいいことだ、としてもそれを好まない様々な人がいるし、様々な発注者がいる。しかも、大きくするのは、それなりに難しい。道路の幅も考えなければならないし、燃費が悪くなることにも耐えなければならない。

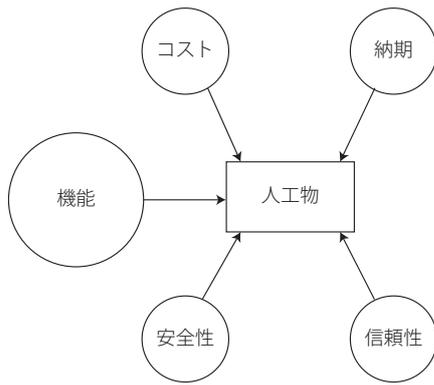
このような見方を取り入れて、人工物の設計と、価値とみなされた限りでの制約条件との関係についてモデル化して理解してみよう。

一般に、設計は、多くの制約条件を満たした解として出来る上がる。要望、欲求の実現を目指す。それぞれの制約条件は、何を重視するかを示している。つまり、価値だとみなせる。⁽²⁷⁾ これらの価値を按配することによって、人工物が設計されて、製造される。人工物を設計する場合に、ある人の意図や目的などを包含した多様な価値がこのような仕方含まれている。発注者が速さを求めるかもしれない。また設計者も世間の意向をくんで、速い自動車を作ろうとするかもしれない。もちろん、速さを求めても、速さそのものを体現した物体ができるわけでもない。SFはともかくとして、現実の人工物では様々な制約条件(技術水準だけでなく研究資金、人材、納期などを含む)を按配しなければならない。当然その当時の技術基準にも依存する。どういう按配の仕方が可能かは、研究環境、メーカーの技術力、社会的要請など様々な条件に依存する。これが人工物を作るための内在的性質となる。(図5)

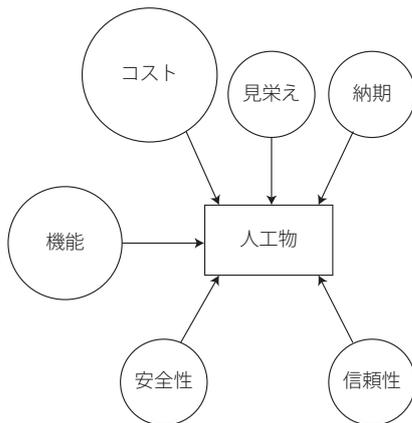
ここでは、価値の間にトレードオフがあるという論点を人工物の設計に関してちょっとした図式を使って考えていく。価値のトレードオフを按配して人工物が設計されている。この点を理解する枠組みがじゃんけんの、グー、チョキ、パーのような価値同士の関係である。設計の場合によく出てくるこのような関係を前提にすると、少し変わったことが生じる。「近代の人工物はすべて効率を求める」といった単純な目的の理解というだけでは説明が無理なのが人工物である。人工物に内在する価値のトレードオフがあり、それが物として固定されているのに、大きな価値観、目的だけで説明するのは無理がある。

このような論点は私が普通に行為する場面と比較することによって理解できる。

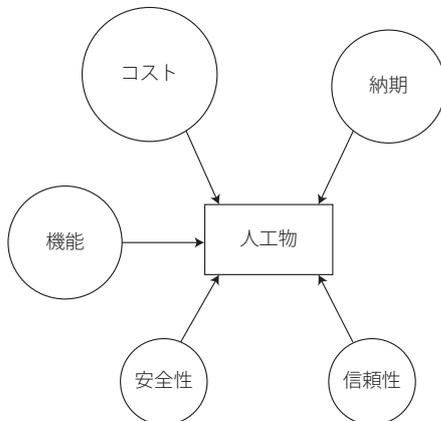
私が1万円持っているとする。それをちょっと高いTシャツを買うために使うか、ディナーを食べるために使うか、という問題があった場合、私は自分にとってどちらが価値があるかを考えて、そのどちらを選ぶかを決断する。また、アイスコーヒーを飲む場合、こちらの店ではプラスチックのストローを使い、あちらの店では紙のストローと使っているとすると、環境倫理という高次の価値を理由にするならば、紙のストローを使う店を私が選択することになるだろう。(環境倫理よりお金が大事だと思っているなら別の選択もあるにしても) 行為の選択に価値に関わり、その価値の間の序列の関係もありそうだ。(ただこの順序づけをあらゆる場面におい



(a) 設計の考え方1：技術者



(b) 設計の考え方2：消費者



(c) 設計の考え方3：経営者

図5：重視する要求の相違

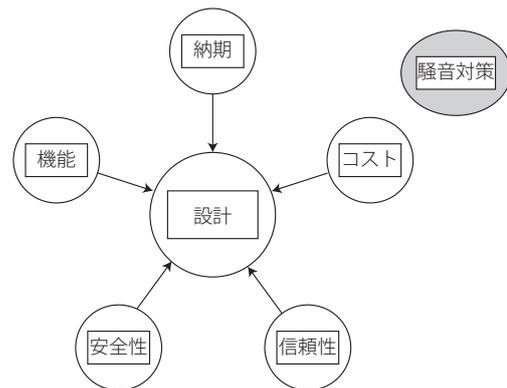
て貫徹できる人はまずいないだろう。)

ともかく分かれ道がある。それをどれかに決めていくのが価値を手がかりにした人間の行為のモデルである。どの製品、人工物を買うか、選択するかという場面である。そこに、個人のもつ価値評価が関わる。

それと比べて人工物の設計においては価値の位置づけは異なる。自動車を作る場合は、どのような仕方で事故が起こるかわからない。正面衝突の場合は、こういう対処で、横転する場合はこういう仕方で、発火したらこういう仕方で、というように様々なリスクを考慮して設計することになる。特殊

な状況が重なると、うまく整合しない事態が生じて問題が生じることもある。

小型車を設計するに際して、前列のシートを倒して、後列に座れるようにすると、小さいなりに使い勝手は良くなるかもしれない。ただ、正面衝突した場合に、シートが前方に動くことによって、後ろに座っていた人が前にもたれかかって、ドライバーを押しつぶすようになるかもしれない。横から衝突するかもしれないし、川に落ちて水没するかもしれない。水没の場合は頑丈に作り重くなるのが安全につながらない場合もある。自動車として使うためには、様々なリスクに耐えるための装置をある程度の大きさ、ある程度のコストで作る必要がある。どこかがうまくいかなかったとしても、これを欠陥と言い立てるのは良くない。メーカーはこのような按配を基に、製品として作り上げて、販売している。高強度のボディの材料が開発されれば、安全とスピードの両方が向上した解を見つけることができるかもしれない。もちろん按配のために実験を繰り返す必要があるし、新しい材料が別種の副作用を生じないとは、予め分かるものではない。また新しい要求が加わった場合も、単純な足し算の問題ではなく、按配が必要になる。(図6)



新しい要求が出れば、それに対応する必要性が生じる。このとき、全体の再調整、按配が、必要になる。

図6：設計の図(新しい要求)

さて、人工物の事故に焦点を当てると、トレードオフの按配はありつつも、技術者、メーカー、設計者の判断が重要になる。

設計者、メーカーの判断を基本に、我々が使っていく人工物の責任を求めるとは、複雑であり、設計の価値の按配はこういった専門家にゆだねるしかないからだ。

ただ、制約条件の設定や、その按配に発注者(消費者とか市民の場合もある)が大きな意味を持つことも忘れてはならない。つまり、設計における要求、価値を提示する人は技術者やメーカーに限られない。作った人の価値だけでなく、発注者やユーザなどの価値観も関係する。ゼロ戦の設計には発注者である海軍の意向も大きかった。(自宅の設計時に、広い縁側を求めたために、耐震性が乏しくなることもある。)

技術者やメーカーに依存しすぎないことはいいことだろうが、発注者に設計の価値が由来することがいいとも限らない。ゼロ戦でもそうだ。ゼロ戦は発注者である海軍の意向を配慮

しすぎて、パイロットの安全をあまり重視しなかったといわれる。そうすると発注者の範囲をより広範に広げることで民主的な意思決定に従うと主張できるかもしれない。

この考え方の失敗の事例として有名なものは、みずほシステムトラブルである。⁽²⁸⁾ 複数の情報システムを一つにまとめる設計を目指したが、そのときに経営者の判断ではなく現場の多くの人々の合意に任せただけに迷走して、結果として大きなシステムトラブルが起こった。企業を統括する社長の意向をより速く明示化することによって、統合的なシステムがより早く出来上がったのではないかと、言われている。

4. 人工物とともに暮らす 哲学的帰結

4.1 人工物とともに暮らす

例えばPC周りの配線が複雑に入り組んでいる場合に、その片付けの方法を教えてもらったりすることは、人工物とともに暮らすには有益である。そして、こういったトラブルに対処するための、様々な器具や備品も開発され販売されている。こういった社会の動きはそれなりに納得がいく。

さて、設計ということを見てきた。これによって考えていくと、生産物が大量生産で、しかも、均質で同質的だという生産方式と結びつく特徴づけは、我々の住んでいる社会の特徴づけとして、それだけではあまり良くない。

まず設計においては、企業の技術者に限られず消費者などのユーザの要求を制約条件として捉えることが行われる。実際上、商品の市場調査は昔からおこなわれているが、「お気に入り」といった仕方で消費者の欲しいものがより分かりやすくなる。その意味で、個人に合わせた製品開発がやりやすくなっている。発注者の意向に合わせた特注化、個別化が進んでいる。

さらに、航空機の整備のように、毎日、そしてある時間が経つと大きな整備、メンテナンスが必要となっている。この場合、航空機に個別化が起こっている。自動車を運転していても、バンパーのどこに傷がつくかとか、雨に当たる回数が増えるとかいう仕方で、同年式のプリウスを買っても、何年もたつとユーザによって自家用車にさまざまな違いが生じる。メンテナンスをどうするかもユーザによって異なりうる。こうして、どこの部分の劣化が危機的になるかということは、変化し個別化が生じる。そして、そのためにリスク管理としては、その個別化の相違をどう見つけていくかがポイントになる。つまり、人工物とともに暮らす場合には、個別化に関わる情報をどう得るかがポイントになる。

製品を製造する場合にモダン・タイムスのような同じことの繰り返しが必要な場合もまだあるが、お菓子のような食品を多量に作る場合には、人間が手仕事で作るのではなく、機械化してやる方が効率も衛生上もよりよくなる。その意味で、現在では大量生産での問題点が大きいというよりは、個別化に関わる問題に大きな注目が向けられている。⁽²⁹⁾

また、冷蔵庫も、壁も、机も、スマホも含めてすべて統一的に設計する技術者も企業もない。ということは、設計という段階で既存の部品を使う場合も、様々な人の「設計意図」要求仕様を部品として含んだ人工物が存在するということになる。人工物とともに暮らすことは、原子のような無記のもの

に囲まれてモノトーンな世界で生活するというよりも、実は多くの人の意図が実現したものに囲まれている。これは考え方としては、植物や動物のような生物システムに囲まれて生活するのと似た状況だとも見えるために、特に驚くことでもない。ただ、人工物は、「人間の意図」を何らかの意味で含むことになるために、少し奇妙な世界に思えるかもしれない。

野生のイノシシや毒草で被害を受けても、運が悪かったとか、気を付けていない私が悪かったとなるかもしれないが、人間が作った人工物で被害を受けると、誰かの責任を考えてしまう。少なくとも被害を減らすための社会システムは必要になるだろう。

個別化し、意図の込められた人工物とともに暮らすための条件を二つの方向から考えていく。

4.2で取り上げるのは、複雑な人工物がトラブルを起こしたときにどう対処するかである。基本は事故調査、専門家の責任の在り方といった問題領域となる。人工物の設計ではローカルルールを使うしかないとか、設計10年という言い方がされるようにもともと複雑性に関わる難しい仕事を技術者が行っていることを踏まえて、作られた人工物のトラブルをどう社会の中で扱っていくかが問題である。

4.3で取り上げるのは、設計の内部に価値が含まれ、発注者の価値もあり技術者の価値もあるという点だ。⁽³⁰⁾ 製造業は同質のものを（品質は良くても）大量に作り続けるのを基本にしてきた。所有者はそれを好きなように使えばいい。その意味で大量生産は社会の中の仕事として基本的に重要だ。しかし、メンテナンスが進むと個別化が進展する。また、人は差異化を望むというよりも、自分でオーダーメイドを行う。これが、価値を設計に導入することと結びつく。個別化に基づく価値をどう評価し、扱っていくかが、現代のテクノロジーの問題となる。

4.2 責任

本章の4.1のようにまず概観してみる。すると、人工物とともに暮らす場合に、第2章で見てきたように、人工物は複雑系になっているという点と第3章で見てきたように、意図や価値が輻輳した設計になっているという2点がまず大きなポイントになる。

さて、人工物とともに暮らすと言っても、昔なら、市民の法である民法で、しかも物に関しては所有権で多くは解決していた。

古い時代の市民の法律としては、人間同士の関係としては、契約が基本であり、場合によっては不法行為が人間間で生じる。そして、人工物も自然物も所有という仕方で扱われる。そのときには、所有によって、物に対する権利関係はすべて尽くされると考えるために、それを作った人が大きくかわることはない。もちろん、オーダーメイドの場合には瑕疵担保責任という仕方で、契約を守らなかった場合には問題になる。ただ、出来上がった人工物そのものに関しては、所有権中心の理解が広まり、その売買契約という仕方で取り上げられることになる。

問題は、存在する人工物が契約時とは違った時間において多くの人に影響する被害をあたえることがある（これは4.3で

述べる公衆に関わる問題領域となる)ということである。橋やマンションの老朽化が一つの典型である。所有者が対応するには、あまりにも被害が大きすぎるということになる。人工物を管理する知識としては、技術的知識が大きそうだが、そうすると技術者やメーカーが所有者とは別に表に出ることになる。

所有者が所有物をコントロールするというよりも、所有権という絶大な権利を持っているわけでもない何らかの専門家が人工物をコントロールとする見方が必要に見えるだろう。その点を少し考えていく。

それでは、人工物を作った技術者にすべてのトラブルの責任を負わせれば、人工物とともに暮らしやすい世界になるのか。

製造物責任法という法律がある。製造物の欠陥について、メーカーに責任を負わすというものである。

1964年に編纂された第2次不法行為法リステイトメント第402A条では、製品の被害に対する厳格責任、無過失責任の原則を宣言した。これは契約当事者関係を伴わない⁽³¹⁾ 厳格責任だと評価されている。(市民社会の法では、契約、所有及び不法行為法の3つのルールが基本である。⁽³²⁾ 不法行為に関しても、過失が基本となる。メーカーが自動車を買う人に、直接自動車を販売しない(直接契約関係にない)のに責任が問われるのが一つのポイントとなる。)

そこから時間が経ち、判例が蓄積されてきたこともあり、第3次不法行為法リステイトメントがまとめられた。ここでは欠陥をまず、3つに分ける。「製造上の欠陥」「設計上の欠陥」「警告・表示上の欠陥」の3つである。このうち、無過失責任を製造上の欠陥だけに限るのがポイントになる。

設計上の欠陥は、合理的な代替設計が存在し、それなしには安全が確保されないことが前提とされた。いわば、過失責任に近いものとなっている。例えば、軽自動車はvolvoのような大きな車と衝突することを考えると、つぶれやすいだろう。ただこの設計を欠陥と言っているのかということが問題とされた。⁽³³⁾ 市場から小型車を欠陥車としてすべて排除することは消費者の選択の幅を不当に制限する。これは小型車の大きさが、直ちに合理的に安全ではない、と言えないことを意味する。自転車もバイクも、欠陥車とみなしていいのか。もちろん、小型車だとしても、不合理と言えるほど危ないものではないのは当然である。

まず設計の欠陥は、ある一つのリスクだけを見て、人工物の欠陥だと言い立てることは良くないということの意味する。つまり、リスクのトレードオフがあったうえで、それをどのように按配するかは、基本的には自動車の設計者、技術者にまず任せられるしかなくなる。

だからと言って、訴訟ができないわけではない。少なくとも、過失責任に近いものがあるかどうかを見ていかなければならない。しかも、過失があるということが確定すると、刑事事件にもなりうる(製造物責任法は日本では民事法の特別法である)。

例えば、自動運転車が事故を起こした場合にも、民事法に関わる場合は、無過失責任としていわば保険のような仕方でもコスト負担をすれば大きな問題は生じないかもしれない。問

題は、刑事事件となった場合に、個人の行為者に責任が負わされることになる。そうすると、誰の決断が問題だったかということを確認しなければならない。設計、製造に関しても、新製品開発に関わる人は多く、誰かが統合的に把握しているかどうかをさぐるのも難しい。技術的な意味での設計でも、様々な価値のトレードオフがあり、多様な部品からなる製品なら、結果的に事故にかかわることになる人も多い。

さて、少し観点を変える。一般に複雑な問題を扱うことになる専門家を考える。専門家の判断に欠陥があればすぐにすべての責任を専門家に負わす、というやり方はたぶんあまり良くない。これは医者や弁護士でも似ていて、一見したところ、「様子を見てみましょう」という言い方は、仕事の放棄にも見えるが、それが機能する場面もある。そしてそれが医者の専門職としての仕事の一部にもなりうる。

弁護士が、依頼者を結局は助けるために、相手と話しているときに依頼者に不利になる情報を出したりすることもある。多分、優れた弁護士は多様な戦略をとって、依頼者のためになることを行う。

人工物は多様な想定を按配している。設計する技術者も実際は、伝統的専門職と似た仕方で総合的な判断を行っている。この場合もまず専門家の仕事を外部から単純に良い悪いと判断できない。だからといって設計者に頼り切ることもできない。すると、周辺の知識に関して、再現可能な知識の確定が重要になる。知識の統合は、やはり専門家に任せるしかないにしても、科学の知識は、再現可能な知識として、いわば客観的に集めることができる。これが事故調査の意義である。

つまり人工物の事故があった場合に責任などの問題を考えようとすると、何が起こったかを確定する必要が生じる。実際上事故調査を広い仕方で行う社会システムが必要だということが分かる。(研究開発の途中なら、企業内、研究室内の問題になる。世間に出した人工物の扱いが本論での大きなポイントになる。)製造ミスや、製造時の労働問題が大きいなら、企業や組織に対する監視も重要になる。しかし、人工物において生じるトラブルは、意図的行為に基づいて生じるものではないことも多い。ユーザの過失やミス、また技術者、メーカーの過失やミスに由来する問題も、提案した設計モデルの理解に基づけば、大きいということが理解されるだろう。

さらに、事故調査に関しても、幾つか考えていくべき点がある。

タイタニックのような有名で大規模な事故は、現代でも、新たな「原因」が見つけれられることはある。船の運航会社の管理が悪かったかもしれず、スクリューとエンジンの設計ミスかもしれず、ミイラの呪いのせいかもしれない。因果関係について、様々な物語を作ることにはできるにしても、誰かを納得させる物語を作り上げることが問題ではない。裁判では、陪審員や裁判官を納得させるために物語が必要とされる⁽³⁴⁾ が、今後同じような事故を起こさないということがポイントなら、再現可能な知見を蓄えることが必要となる。古くはボイラーの事故を通じて、ボイラーなどについてのしっかりとした技術基準が作られてきたように。

ローカルな法則に従っているにしても、ある想定の下では再現可能性があるということが、科学に基づくものづくりの

知識の基本である。そのルールを技術基準として蓄積し、確立する必要がある。

もう一つの例として、知床の海難事故を取り上げる。

専門家は、素人と対比してどういう倫理的枠組みで行動すべきかという問題設定はある。ただ、専門家がすべてを知っているわけではない。⁽³⁵⁾ そのうえで、問題を考える必要がある。知床の船の事故でのコメントをしていた専門家（船舶工学者）は、横波を受けるとこういう仕方で転覆するとか、ドアから水が入ると沈没する可能性があるといった、一般論（もちろん専門的知見に基づく）しか述べられなかった。

その後、事故調査が行われ、事故を起こしたKAZU1が海中から引き揚げられ、調査が行われた。

知床の事故での観光船KAZU1の沈没についての経過報告書で、少し摩耗していたハッチが波で開いて海水が流入したのが沈没の原因だと述べてある。水は入るにしても、実際甲板下は船倉や機関室など4つの区画に分かれている。船倉だけが水につかるだけなら沈没しないので、運輸安全委員会は、KAZU1のような小型船舶にも各区画を水密構造にするような義務づけを検討するように求めた。さらに、横展開して、他の小型旅客船のハッチの腐食などの緊急点検を実施するように国土交通省に求めた。

つまり、事故調査に関しても、理論的知識だけでは何が起きたかを確定できない。そして、再現実験するまでは確証が得られていない。専門家は、様々の可能性を提示する。その上で、実際に何が起こったのかの調査が行われる。これには時間がかかる。データがないと、事故調査報告書になるような解（この船が沈没した原因）を与えることはできない。この場合、専門家であるというだけで、完ぺきな解を提示するわけでないのは当然だ。

さらに、事故の原因が何であるかを消費者や市民に知らせるだけでなく、そのマネジメントを提案しなければならない。これは再設計の提案であり、単純な作業ではない。

事故調査は、設計者、メーカーさらにはそのような人工物を使っている事業に対する勧告を含むことになるのである。

一般に、因果関係はその個別の船舶に対して存在するが、それ以外の船舶では、機能も形式も全く同じでもないのに、一応注意し、点検するのが面白い。実はこのような横展開の対応は、航空機の事故の調査報告に基づく点検の勧告として行われたことがある。また、原子力発電所とか大規模な化学プラントでも、どこかの会社のどこかのプラントで起こったトラブルの事例を他社も共有化しようとするとも行われている。

過失も含めて、トラブルが起こる理由は多い。その意味での専門的知識が必要になる。市民に警告を発するだけでなく、どう対処するか提案も事業者やメーカーに伝えることが、人工物とともに暮らす場合のポイントになる。こういう仕方で広い意味で、メンテナンスをうまく行える社会システムが必要だということになる。

新しいもの、新奇なものしか売れない（販売における価値はここに集中する）ことはあっても、人工物とともに暮らすためには、ある種地道な技術的知識の積み上げ、まとめ上げが必要になる。

ただ、ネズミを捕る罠を仕掛けたという人工物の意図的使いが問題になるだけではない。直接意図したことだけが社会にトラブルを引き起こすのではないのが問題の根源だ。

スチールの椅子でも、座るためだけでなく、ベランダに鉢植えを置くためにも使える。プロレスなどでは、人に投げつけるためにも使われる。設計者の意図とは違った仕方でも使えるのが人工物だ。それらを使って、人間は行為する。そして、古くからの所有による責任では済まないのが現代の世界である。

人間が何らかのものを使うというだけなら、意図的行為の世界だろう。人工物を作った人の責任という方向にはいかない。複雑な設計が行われるし、ユーザの使い方も想定を超える。しかも、人工物は劣化する。つまり、設計の意図に合わないことも生じる。これが人工物であるために、人工物とともに暮らすことは、完ぺきを求める場合には、なかなか難しい。

人工物ではなく生物は、これらの点から考えると、うまく機能している。結局、進化などによって多くのテストを受けて出来上がったものであるだけに、しかもうまくないものは滅びたために、現在の環境には割とうまく適合していることがみられるのであろう。

人工物は人間の意図が含まれているために、その滅亡を見守るだけではすまず、うまく副作用に対処しないと、ともに暮らすのはだんだんと難しくなる。

設計の段階でも技術者はポイントだが、そこにユーザが関わってくる。既存の人工物があった場合もそれを多様に使える。その点も含めて人工物とともに暮らすことになる。そしてこの社会は、契約を中心とする人間の意図的行為を基本とする市民社会とは違っている。複雑で価値とか意図とかも輻射している世界では、意図に基づく責任だけを強調しても仕方がない。過失やミスということを十分に考えに入れた社会システムが必要になってくる。

4.3 公衆

科学技術に公衆が関わる側面は3つある。

一つは、医者や弁護士のような専門職との対比で考える場合だ。

二つ目は、技術者に特にかかわるように、研究開発、設計の場面である。

三つ目は、人工物が物理的存在としてあるために、いわば設計者も技術者も、もちろん所有者も知らない仕方でも使えるということである。（4.2でも少し触れた。）

まず第1の専門家に戻っていく。医者は、患者を診断してどんな病気に罹っているかを探りそれに対処する。弁護士は、起こったトラブルがどういう法律違反になるかを探りそれに対処する。こうすると、技術者という専門家は、事故が起こった時に、何が原因かを探り、それに対処するともいえる。

もちろん、4.2でも少し述べたように、何が原因かを究明することは、偉い専門家であっても詳細なデータがなければある程度予測するしかなく、完ぺきな原因究明はすぐには非常に難しい。

医者は患者に対して、弁護士は依頼主に対して誠実であることが望まれる。それに対して、依頼者とか発注者以外の人

に対しても倫理的配慮が必要なのが、人工物を作る場合のポイントとなる。⁽³⁶⁾

例えば、回転ドアを作る場合、発注者がメーカーに対して、多くの人が通ることができて見た目も高級感がある、ということを中心とした要求をしたとする。発注を受けたメーカーはそれに応える。ただそれにとどまらず、公衆にまで配慮をしないとイケない。つまり、お金を払ってその人工物を使ったり、人工物を買ったりする人でない小さな子供が回転ドアに走りこんで、回転ドアに挟まれる事故が起こらないように人工物を作ることがメーカー、技術者に要求される。これが、専門職の倫理として医者や弁護士とは違った側面である。医者は、目の前の患者のためを考えて治療をする。今後同じ病気の人が現れた時のために、実験的な治療を試みるとか、まだ承認されていないが効きそうな薬を試すことは医療倫理としては許されない。この場合、患者に対して少なくとも、インフォームド・コンセントを取ることが必要とされる。配慮対象者が限定されているために、知識を持った専門家が特定の素人に説明すること自身は、容易ではなくてもまだ可能な対応である。それに対して、公衆を配慮しなければならない技術者という専門職は、もともと利益相反の起こりそうな状況に直面している。

設計者の倫理は、典型的な専門職の倫理では捉えがたいものになっている。公衆への拡張が常に求められるために、事故調査などの社会システムがさらに必要になる。技術基準を作り上げるための知識の蓄積も必要になる。

第2に、設計の場面を取り上げる。

研究開発に当たることは、普通の医者や弁護士は行わないが、技術者の仕事ではあるかもしれない。しかも新しい使い方は、想定を超える場合があり、制約条件の按配が新たに必要になる。

自動車は衝突時の対応の可能性をいろいろ考えて、設計を仕上げる。(技術水準が低い場合には、今から見るとあまりうまく対応がなかっただろう。T型フォードの時代と、現在のvolvoでは違っている。)これは技術の進歩と言える。どうい地震が起って柱に負荷がかかるか分からない部分があっても、冗長性などを利用しつつ(柱の強度を上げるなど)設計が行われることになる。木の耐久性や引っ張り強さの詳細が分からないまま、木造建築は古くから行われてきた。勿論、技術的ではない問題も含めて、様々なトラブルが生じうる。それも踏まえて新たな人工物が作られていく。

しかも、制約条件の按配を通じて設計が行われているというモデルで考えると、人工物そのものは多くの人に対するある程度の配慮はしているが、完璧ではありえないのは当然である。スマホにしろ、薬にしろ、家の建築にしろ、自動車にしろ、原発にしろどのようなリスクをどう扱うかはもともと難しい。⁽³⁷⁾

多様な価値が人工物の設計時に考慮されている。自宅の一軒家の建築を依頼する場合も、依頼している発注者の意向が大きく影響した場合には、のちのち使い勝手が悪いなどの不具合は、自分で引き受けねばならない。価値の按配は、技術者に任せておいても見通せないことがあるが、発注者の意向を重視しすぎても、将来にわたる予測に関しては見えがたい

ものも残ってしまう。安全の観点では、発注者の意向を強調しすぎると、技術者以外の責任が拡大する。民主的に発注することが人工物の問題解決に寄与するとは限らない。

またさらに、MaaSとかSaaSと言われるように、サービス化によって、メーカーがある部分個人の要望を満たす方向に動くことも行われている。

人工物に関して、個人の所有ということを外すと、所有してそうなメーカーとかレンタカーなどの事業者が事故などの責任を負うことになる。これはある程度の専門家が社会の中の人工物をコントロールすることである。安全で住みやすい社会にはなるが、常に乳母車の中にいて、監視のもとに過ごす赤ん坊と似てくる。安全問題の解決が、別の社会問題を作り上げる。

第3に、人工物の使い方がユーザに任されるという点を見ていく。

人工物を販売するとなると、その使い方はユーザに任される。そして、人工物の使い方についてあらゆることを説明することはほとんど不可能である。冷蔵庫にも、洗濯機にもよく分からないボタンはついている。ただ、うまく動かないということを超えて、他人に被害を与えたり、自分でケガをするということも起こりうる。非常に広い意味で、ミスをしたり過失を犯して被害が生じることがある。医療や弁護の場面でも、契約上の意図的なトラブルは起こりうる。人工物を扱う場合は、(意図的な問題はあっても)過失やミスに由来する問題も普通に起こりうる。これに対する対処も考えておかないと、人工物とともに暮らすということは難しくなる。

實際上、橋やトンネルは時間とともに劣化する。普通の自然状況だが、生活している人には気づかれにくいのも事実だ。その意味での過失とか抜け落ちを忘れることは許されない。

普通の対処法は保険であり、自動車事故に関しては、自賠責保険の制度が重要だろう。(事実関係の特定もドライブレコーダーがない時代には難しかったし、特に日本では裁判での解決が事実上難しい。)インフォームド・コンセントといういわば「意識させる」という対処法ではまだ弱く、何らかの被害者に対する補償を実際に行うという社会システムが必要とされるのが、公衆という幅広い人々を配慮する場合である。

問題提示というより、問題解決やリスクのマネジメントにまで入り込むことは、実際に解を見つけることがさらに必要である。少なくともある種の専門家が、幾つかの解を提案し、それをうまくメンテナンスし続けることが必要だろう。

4.4 最後に

複雑性、フィードバック、価値のトレードオフがある人工物では、単純な価値観で現状の人工物を一元的に評価するのはおかしい。ネズミよりライオンが強いにしても、この世界にどう適応するかがより大きな問題だろう。人工物も一つの機能(環境性能とか安全)だけに注目しても、それで十分理解したことにはならない。

複雑な人工物を使うようになり、人工物とともに暮らすようになっていくと、その人工物そのものも動物や植物と似て、それぞれ勝手に生きているのと近くなる。大きな問題が起こるのは問題なので、時々事故調査やそれに対する対応が必要

だが、たいていの場合には人工物という少し奇妙な存在と共存することになる。いわば、狂犬も毒草もありつつ共存するしかない。順化し家畜化するとか、注意書きを添えるとかすることによって、イノシシや蛇とともに暮らすことになる。

設計に関わる言葉でまとめる。再現可能であるために、科学技術は信頼できるものとなっている。そして、事故調査を通じた知識の集約、技術基準の作成は重要だ。ただ、そのような知識を使って複雑な人工物を設計する場合に、少し違った問題が出てくるのだ。制約条件がトレードオフを含むという点と、発注者に当たる人々が公衆になるという点が大きい。これらの新しい制約条件の下で、問題を解決し、解決策を実効性あらしめる必要がある。

こうなると、人工物とともに暮らす場合のポイントは、副作用がほとんど常に生じるということだ。しかも工学の観点からは、リスクを評価して人々に知らせることにとどまらない。問題解決をするのが工学であり、リスクのマネジメントまでやらざるを得ない。科学的な分析、理論の枠組みの提示ではなく、現実的な様々な条件を考え入れ、解を提示することが必要になる。⁽³⁸⁾

意図という言葉を使ってもう一度述べる。設計の制約に発注者の意図が入り込むのであるが、その意図の入り込み方が、設計者がわなを仕掛けて待っているというイメージも間違いであるし、発注者の意図がそのまま実現されているのも言い過ぎになる。包丁やハンマー、道路の高さ制限などは、割と単純な仕方では意図が表現されているので、対処もまだしやすい。複雑性と価値の按配による奇妙な副作用を含んでしまうというのが、人工物なのである。(置き物や絵画は、製作者の意図の表現と捉えることができる。ただ、見るだけでなく他人が使う人工物は、価値のトレードオフを考慮する必要がある。)

そしてそれらの按配が行われて作られた人工物は、単純に人間の行動における意思決定と類比して扱えるものではない。この点も述べてきた。

結局不思議な複雑性を含むために、人工物とともに暮らすことは、ある程度考え抜かれた人工物の研究開発が行われても、失敗から学ぶとか、メンテナンスという形の環境や社会状況に対応した変革が常に求められることになるのである。そして、こういう方向で考えを進めた人工物の哲学、技術の哲学が必要になるのである。

注

- (1) ロナルド・H・コース『企業・市場・法』東洋経済新報社1992、特に第2章。
- (2) 拙著『〈ものづくり〉と複雑系』講談社選書メチエ(1998)。
- (3) 興味深い事例がある。ニュートン力学が誕生した時代の哲学者であるデイヴィッド・ヒュームの考えが次のようにまとめられている。「すべての科学の唯一の直接的な効用は、本来の事象をその原因によって制御し規制する仕方をわれわれに教えてくれることである。」「科学を感情モデルで理解する」久米暁『思想』岩波書店(2011.12)
- (4) 機械設計技術者試験という資格試験でも4大力学の計算問題が多く出題されている。また、機械系の大学院の入

試問題でも、4力の問題は基本である。例えば、『機械設計技術者のための4大力学』朝比奈奎一監修、オーム社(2022)、『機械系大学院への四力・制御問題精選』青木隆平編著、培風館(2022)などを参照。また明治以降現在まで、この4力は、ほとんどの大学の機械工学のカリキュラムの中心をなしている。

- (5) 流体の挙動がナビエ・ストークスの方程式で表現されることがあっても、この配管が破断するかどうかは、もともと複雑な力が複雑にかかっているときに何が起るかを知らなければならないので、改めて実験してそこに規則性を探ることが必要になる。
- (6) 第一原理計算とも言われる分子軌道法に基づく計算化学的計算シミュレーションが試験管の代わりにするには、演算速度が毎年二倍になっていてもまだまだ時間がかかる。『岩波講座 現代工学の基礎 計算化学』長嶋雲兵(2002) p.10。
- (7) 計算化学の観点からは、原子・分子のサイズで用いられる分子軌道法、それより100倍大きな分子集合体や生体高分子などに適用される分子動力学、さらに工場規模の大きさの系を扱う物性推算に分かれる。『岩波講座 現代工学の基礎 計算化学』長嶋雲兵(2002)
- (8) 例えば、『岩波講座 現代工学の基礎 計算力学』矢川元基・関東康祐・奥田洋司の「はじめに」において、「もの作りにおいては、ものが使われるときのことをいろいろ想定して、ものがこわれぬとか、十分に機能を出せるかといった、もののふるまいを事前に予測しておくことが大事である。この工学における予測を行うために、人々は多くの方法を編み出してきた。これらの方法には、大きく分けて「実験」「理論」「計算」の3つがある。」p.vとまとめている。
- (9) 科学と数学との関係については、中谷宇吉郎『科学の方法』第7章での論点に私は親近感を持っている。基本は「ちがった自然の性質に合うような数学を選んで、それを使って、問題を解いていくのである。」p.119というものである。
- (10) 裁判での証拠の扱い、という枠組みでは問題になりうる。
- (11) 中谷宇吉郎『科学の方法』岩波新書1958、p.2。
- (12) 小澤守「第5章 産業社会における安全と安全確保の方策」p.60『食品由来のリスクの解析と管理、情報交換、教育に関する総合的研究(最終報告書)』「科研費基盤(A) 課題番号16208022」研究代表者 新山陽子、2007年3月。
- (13) 観測に関して、安易に「理論負荷性」を主張してはいけないという点は、内井惣七『科学哲学入門』世界思想社(1995)第5章の論点に共感している。特にその気体分子運動論の説明は納得がいく。ものづくりをする工学者、技術者もごく普通にそう考えていると思う。特定の人工物、もしくはものづくりという文脈で実験が構想されたと表現できるかもしれないが、理論の表現の仕方に依存するものではない。人工物の破断の条件を探ってはいるが。
- (14) 下水管には様々な固形物が流れてくるので柵でそれをとどめている。滞留物はともかく、柵ですら一樣な流れを阻害する。掃除機の空気の流れとフィルターの目詰まりに関しても同じことが生じる。人工物をつくるには、そ

- の具体的現実を踏まえて、どう予測し対処するかが問題になる。
- (15) 自然法則を意識的に適用するという言い方は、理学者特に理論物理学者の上から目線を感じる。物理学帝国主義は実在の記述の面から正しくても、それをものづくりに応用するには、意識的に適用するだけでは足りない部分が多すぎる。
- (16) 「ロボコン」や「人力飛行機コンテスト」や「魔改造の夜」といったTV番組では、開発段階の試行錯誤も映像として見せている。それを見ても、アイデアを練り上げ、多くのトラブルをつぶすことに時間をかけていることが分かる。天才のひらめきだけでできるわけでもなく、大学教授の科学技術の知識とか教科書などの知識だけでは製品が出来上がらないことが分かる。
- (17) 拙著『〈ものづくり〉と複雑系』講談社選書メチエ(1998)では少し具体的に論じた。
- (18) 畑村洋太郎『岩波講座 現代工学の基礎 設計の方法論』2000、p.6。
- (19) なお、畑村自身は、価値に関しては、設計の制約条件とは少し違った枠組みで取り上げている。『技術大国幻想の終わり』畑村洋太郎 講談社現代新書(2015)第2章、特にp.90を参照。
- (20) 「人工物をつくる目的は、人間にとって有用な働きをさせることである。」p.v『岩波講座 現代工学の基礎 人工物の構造と特性』中島尚正、2002。
- (21) この2つの事例については、読売新聞2023年1月5日を直接は参照した。
- (22) 最近、トレードオフに注目して製品設計を語る論文を見つけた。「製品設計の「キモ」(4)トレードオフのコントロール」製品設計コンサルタント田口技術士事務所 田口宏之、<https://plastics-japan.com/archives/702>。
- (23) 『三菱海軍戦闘機設計の真実 曾根嘉年技師の秘蔵レポート』杉田親美 国書刊行会2019 第8章から第10章、なおNHKの番組(2005年8月13日)で曾根嘉年のメモを基にした「零戦二欠陥アリ」という題の1時間半の番組も参考にしている。
- (24) 絵を描くとか、VRでの動画を作る場合には、耐圧や耐熱などの制約を考慮しなくてもいいだけに、思いやアイデアがすぐに実現されそうである。現実のものには物理的制約や金銭、時間など多くの制約がある。(後に述べるように、発注者の意向という制約もある。)人工物の設計は、制約条件の輻輳という意味でのリアルにかかわり、「好きなものは何でも作れる」とは言えないのがポイントである。別の言い方をすると、これが人工物の内在的特質である。
- (25) 高専ロボコンは、地区大会も含めて毎年NHKで放映されている。具体的な開発の様子も番組の中で少しは見られる。
- (26) 拙著「図解：工学倫理」関西大学『社会学部紀要』第51巻第2号(2020年3月) pp.109-139。
- (27) 一般に、自然法則は圧倒的に大きな制約だとみなされるかもしれない。それでも発注者の要望の実現の仕方は多様である(建築家に自宅の建設設計を発注すればそれは分かる)。それぞれの発注者によって、またそれぞれの技術者によって重視する制約条件が異なる。異なっていることは特に問題ではないにしても、事故を起こさず機能するという程度には、それらの条件を按配する必要がある。製品として商品売り出すためには、この按配が重要になる。薬の開発でも、心臓細胞に効くというだけでなく、安全性も重要であり、飲み薬が肝臓で分解されずに心臓までどの程度届くか、ということも重要である。
- (28) 日経コンピュータ編『システム障害はなぜ二度起きたか』(2011)日経BP社。
- (29) これについては、「人工物に関わる所有権」(科学哲学会(2018.10.14)於：立命館大学)という題で口頭発表した。
- (30) 制約条件と価値に関わる論点については、「価値と人工物の設計」(科学基礎論学会2019.11.30)という題で、口頭発表した。
- (31) (アメリカでは)製造者の責任を問うために、被害者と製造者との間に直接の契約関係(privity of contract)が必要だという考えがあった。それが1916年に廃棄されるようになった。この経緯については、『アメリカ不法行為法[第2版]』pp.263-271樋口範雄 弘文堂(2009)を参照。
- (32) 内田貴『民法I』東大出版会(2008)。
- (33) 別の事例としては、アメリカ大統領の専用車ビーストは安全面で非常に完ぺきだと言われている。このような安全性がない自動車はすべて欠陥車だといって、販売も購入もできない社会がいいかどうかの問題である。なお小型車の事例については、『米国第3次不法行為法リステイメント 製造物責任法』アメリカ法律協会編 森島昭夫監訳・山口正久訳 木鐸社刊(2001) p.60を参照。
- (34) アメリカの事故調査委員会とイギリスの事故調査委員会では、違った方向の調査報告を出したというのが有名である。まとまった記述は、『タイタニックがわかる本』改訂増補版 高島健 成山堂書店(2000) pp.182-198、少し詳細な記述は、『タイタニックは沈められた』ロビン・ガーディナー & ダン・ヴァンダー・ヴァット 集英社 pp.178-281を参照。
- (35) 名医と言われた医師でも、誤診率は14.2%だったという話が述べられている。『誤診』第2章 大鐘稔彦 Blue Backs(1996)。
- (36) Robert J. Baum: Ethics and Engineering Curricula(1980)において、1912年のアメリカ電子技術者協会が最初の技術者に対する倫理綱領を出したときに、顧客や雇用者の保護を専門的な義務の第一と考えていた。その後、1947年ごろから、技術者の仕事で影響を受ける雇用者や公衆の生命、安全、健康を適切に顧慮する、という論点に拡大されてきた。
- (37) ユーザの使い方が見通せないということは、「特許流通フェア」が大規模に行われていることから理解される。新技術を発明した人も、それがどう使われるかを予測し尽くすことはできないのである。
- (38) リコールや回収のシステムも、単純に警告すればいいのではなく、マネジメントをうまく考えることが必要になる。既存不適格という耐震基準を満たさない建築物が、現在も多数残っている。