

工学教育のながれとこれから

京都先端科学大学 学長 前田 正史

はじめに

工学とは何なのだろうか。神が定めた宇宙の真理を探究する、わけではなく、人類のこれまでの歩んできた道筋を振り返り、人間の思考と行動について思索する、わけでもない。人間が社会で生きていく上で必要な仕組みや規則を考える、わけでもない。では、何のために工学があり、我々はその教育をするのだろうか。少し回り道をするをご容赦いただきたい。

Early Exposure

小さい頃、東京の大田区南蒲田に住んでいた。幼稚園の帰り道に、爆撃によって穴の空いたままの建物が残っている工場街を歩くと、池があった。子供心に池だと思っていたのだが、爆弾の落ちた穴だと大人から聞いた。池の周辺には、滅多にないのだが、何かの部品が落ちていることがあった。幼稚園児にとっては宝物である。金属製で、金色をしていたものもあった。後に、それが高射砲の薬莖であったことを教えられた。

小学校に入学すると、遠くから通っている級友もいる。羽田空港の近くから通っている友達の家遊びに行くと、見たこともない、金属の蛇のようなキラキラしたものが束ねられて、高く積み上がっていた。旋盤の加工くずである。いろいろな種類があって、銀色をしたものもあったし、金色をしたものもあった。それらとは別に赤い色をした、あまりキラキラしてなくて、少し汚れているものがあった。そこのおじさんはアカと呼んでいた。級友から、あれは汚く見えるけど一番高いんだ、と教えられた。古

い電線くず、つまり銅くずである。その次が金色の真ちゅう（黄銅）である。まさにこれは幼稚園時代に拾っていたものと同じものである。

別の級友の家に遊びに行くと、そこのお父さんがくるくる回る機械で、銀色をした大きな塊をシュルシュルと削っていた。その先には蛇のようにクネクネしている薄い銀色のリボンのような金属があった。銅の旋盤くずである。油のにおいがする部屋で、いつまで見ても飽きなかった。

この頃は、まだ、自分が長じて工学部で金属材料を学ぶなどと言うことは全く知らなかったことは当然であるが、いまだに覚えているのだから印象が強かったのだろう。おそらく自分が工学を専門として選択したこと、生産技術に関心があることは、この幼児体験が大きかったように思う。Ultra Early Exposure である¹。

当時の蒲田、糀谷、六郷地区は、零細町工場の集積地であった。多くは小型の金属部品の加工や、鍛造品の製造である。また、電気部品の工場も多数あったように思う。大きな企業としては東京計器、新潟鐵工があったように思う。多摩川の向こうには日本鋼管や味の素があり、六郷土手で遊ぶと、赤い煙がたくさん見えた。自宅は南蒲田であったが近所にはこれらの会社に働きに出ている人たちが多くいた。

思い出せば、月給制で働く本工と呼ばれていた人たちは近所でもエリートで、どちらかという日給月給の人が多かったように思う。休みが続くとうれいしと、著者が言うと、母に、近

所にはお休みの日には給料がもらえない人もいるんだから、大きな声でそんなことを言っていけない、と教えられた。多くの家の敷地は10坪もなく、トタン葺き、バラックである。水道も外にしかない。

当時は、普通のことであったが、家には風呂がなく、近くの銭湯に行った。ここにもいろんな人がいた。背中に大きな入れ墨がある人もたくさんいたが、小さな子供にはえらく親切で、風呂の入り方のイロハを教えられた。母と一緒に女風呂に行けば、これまたかまわれて、弟と私にとっては楽しい空間と時間であった。ただ、父は夜間高校で働いていたので、授業が終わってから銭湯に行くと、もうお湯がドロドロでいやだったと言っていた。父は風呂のある家が夢だった。母は、砂糖の入っていた缶を座布団でぐるぐる巻きにして、買ってきた氷を入れて、冷蔵庫だと言っていた。なかなかのアイデアアウーマンである。電気冷蔵庫は遠い存在であった。

Unmet Needs : 工学はなぜ必要とされるのか

何のために工学があるのか、工学は何を目的にしているのか。日本で最も優れた建築家の一人である内藤廣氏の言を借りると、「工学とは、人を幸せにする手段を提供する方法を体系立てること」となる。

著者が子供だったころの庶民の夢は、つつましかなものである。すきま風の入らない家が欲しい、家の中に水道が欲しい、内風呂が欲しい、おなかいっぱい米を食べたい²、といったところであった。次の段階になると、家電の三種の神器である。白黒テレビ、洗濯機、冷蔵庫。我が家では、洗濯機が最初に来て、次に白黒テレビ。引っ越して風呂ができ、冷蔵庫と、ずいぶん進化した。この頃のニーズは極めてわかりやすく、豊かになっていることが肌で感じられた。

工学が「人を幸せにする手段」であるならば、

「人を幸せにする」とはどのようなことか。例えば、著者が子供時代の庶民の小さな幸せを具体化することも一つであろうが、現代で言えば、住宅の機能改善、安価な住設機器の開発、エネルギー供給のインフラ整備、食料生産技術の開発など、社会のニーズをくみ上げて、解決策を提供するということであろう。世界の人々のアンメットニーズ (Unmet Needs, 充足されていないニーズ) を満たすための手段を提供する、その方法論を提供できるのは工学がコアとなる学術ではないだろうか。もちろん工学だけでは社会実装できないので、社会科学、人文学の力を借りる必要がある³。しかし、そもそも、そのアンメットニーズを感じることはできないとしたら、工学を実践する者としては成功できないであろう⁴。

工学教育の歴史

幕末はおおよそ150～170年前のことである。

時の幕府は列強大国からの開国要求の中で、鎖国時代に世界で発展した科学と技術について多くのチャンネルから知ることになる。

列強各国からは、幕府に対して脅迫も懐柔もあった。アメリカ、ロシア、イギリス、プロシアの開国要求は典型である。同時に様々な“おみやげ”も持ち込まれている。大きなものは軍艦であろう。特にオランダは2隻の軍艦で来日、1隻⁵を将軍に寄贈した。これを基本財産として、1855年、長崎海軍伝習所が設置された。航海には様々な知識が必要であり、操船の具体的な訓練に加え、座学で、いわゆる西洋の科学が導入された航海術を学んだ。勝海舟が中心となり、明治への転換に大きな役割を果たしたことは読者もご存じの通りである。この海軍伝習所が我が国の工学教育の原点であるという説もある ([大山達雄, 前田正史, 2014])。

鎖国中であり、攘夷論猛々しい中、幕府の募集に応じ130名もの伝習生が各藩の推薦で集まったが、いずれもとびきりの秀才達であったこ

とは、この国の多面性を示しており、興味深い。また同時期に幕府天文方の外局としての蛮書和解御用が翻訳機関として設置された。この蕃書調所は、その後、開成所となり、東京大学の前身となっている。

海軍伝習所で育った人材はそのまま明治政府に引き継がれている。社会の構造は大きく変わったが、工学教育、高等教育という視点では、幕末から明治初期までは、かなりの連続性がある⁶。つまり、幕末の教育資産を明治という時代が受け取って発展させたと言えるだろう。

殖産興業を旗印に明治政府は国内の産業振興を図り、外貨を稼ぐことを指向した。まずはそのためのインフラストラクチャーの整備を図った。道路を整備し、鉄道を走らせ、電力基幹整備、郵便システム、通信設備を配置する。英国人鉄道技師 Edmund Morel が工部省の必要性を建議し、木戸孝允、伊藤博文、大隈重信、井上馨らが積極的に活動して1870年に設置された。主な任務は近代国家としてのインフラ整備である。この下に工部省工学寮、のちの工部大学校が設置されて、多数のイギリス人が初期工学教育を立ち上げた。これは当時の技官(技術官僚)の山尾庸三の力が大きい。山尾は初代の工学寮頭を務めた。山尾はロンドンとグラスゴーで5年間にわたり、科学と技術を学んだ。特にグラスゴーでは造船所の職工として働きながら、夜間、職工学校(アンダーソンズカレッジ)に学び、この経験が工学寮の設置につながったと思われる。

伊藤博文は、岩倉使節団の一員として、1872年(明治5年)工学寮の教員の人選を行い、グラスゴー大学の、熱力学、弾性学などで著名なランキン教授の弟子、ヘンリー・ダイアー(25歳)が推薦された。なお、当時のグラスゴー大学のボスは、かのケルビン卿で、この人選に大いに協力した⁷。

工学寮(工部大学校)に設けられた専門科目

は、土木、建築、機械、電信(後の電気)、化学、鉱山であり、150年前の学科でありながら現在の大学に設置されている工学部とほとんど変わらない。ただし、学び方は現在の大学の工学教育と大きく異なる。ダイアーは熟慮と、欧米の工学教育の実態の反省も込めて、6年制の工部大学校を計画した。予科2年、専門科2年、実践2年である。予科では、英語、数学、物理などの基礎科学を学び、専門科では上述の6科目に分かれて学ぶ。最後の2年間は現場で実践的な活動に入った。予科と専門科の4年間のうち、半年は座学、半年は現場の実習とした。この教育効果はすばらしく大きく、卒業生の優等生はグラスゴー大学への留学を許されたが、ケルビン卿をして「これらの学生は自分が教えた学生の中でもっとも優秀な学生である」と言わしめた。この教育体制はヨーロッパなどのメディアでも取り上げられたが、残念ながら、工部省が廃止され、文部省管轄になったことや、国策事業が減少し、民間委託され、実習、実践場所を失ったことで、永続的なものとはならなかった。

もう一つの工学系の教育の流れは開成学校⁸の流れである。こちらはあえて言えば理学的な立て付けであり、理論的なドイツ流の教育体制をしいていた。文部省管轄であり、薩摩出身者が力を持っていたと考えられる。工部省が廃止され農商務省となり、工部大学校が東京大学工芸学部と合併した際に、長州出身であった工部省推進者達⁹の力が及ばなくなり、イギリス流教育はドイツ流に呑み込まれていったと想像される。

現未来と近未来の生産技術と工学

伝統的な日本の工学教育は、前述のように過去150年にわたり“単純成長”してきた工学に基礎をおいている。つまり機械工学、電気工学、化学工学などは古典的な産業構造に立脚した学術分野体系を踏まえている。学部においては、その基礎を深く学ぶと共に関連する学部専門科

目を修得する。ダイアーが構想したような実践や、現場との摩擦的経験による学問の定着とは異なると言えるが、しかし、この工学教育モデルが世界トップ“レベル”の普遍的な製品を多く生産し、日本産業界を支える人材を輩出してきた事も事実である。

敗戦後の生産力回復は、大きな意味では明治維新とそれほど変わらない産業の“復旧”であったと言える。その後の高度成長期には、多くの新しい生産物が人々の生活の利便性を高めるものとして開発されてきた。今や、情報伝達の即時性、大量情報の高速処理を可能とするインフラと、個別のICT機器が極めて安価に手に入る21世紀である。かつてのスパコンの能力は、今やスマホで達成できる。

社会・産業の構造改革は急速に進行し、著者が子供の頃に見た人の手と旋盤によるものづくりは、NCマシニングセンタとCADによる高度にデジタル化された技術を基礎に生産されるようになった。この構造改革は、伝統的な積み上げ型のものづくりに凝縮してきた様々なノウハウ、現場の暗黙知をデジタル化して一般化する作業となった。つまり、ものづくりの固有技術はテキストに記述できる技術に変化したことになる¹⁰。

中国などの“ものづくり”大国は、これらのデジタル情報を元に、高速に、安価に先進諸国がかつて生産した製品を製造するようになっている。

製品のマーケットを見つけることが事業としての工業生産の骨格であることは変わらないが、具体的なハードの製造そのもの、ものづくり現場は、既にこれらの国々に移転している。それゆえにこそ、「何を、何のために作るのか」を我々は志向しなくてはいけない。前述のように工学が、人を幸せにする手段を用意するためにあるとすれば、何が人々を幸せにするために不足しているのかを認識しないとイケない。工

学のパラダイムは変わったのである。

ロボット、ドローン、電気自動車などの全く新しい市場とその周辺の新産業分野の拡大は劇的である。既存の工業分野と、この発展を支えるAI、ビッグデータ解析、IoTなどの新しい技術分野が次々に誕生している。この激変する環境に、これまでの日本の工学教育モデルがタイムリーに対応できていないのではないか。その結果として、産業界が大学に育成を期待する人物像と大学が育成している人物像との間に乖離が生じることは想像に難くない。

京都先端科学大学工学部について

ここで、著者が学長として新設する工学部についてこれまでの記述を実証する新しい試みとして紹介したい。

日本が21世紀においても引き続き科学技術分野で世界を牽引するためには、社会・産業の構造改革に対して高等教育が迅速に対応し、従来の学問分野を再編・統合した、新しい専門知識を修得できる新しい工学教育およびこれに基づく工学人材の育成が必要である。この新しい工学教育に取り組もうとしているのが本大学の工学部である。新たな産業基盤技術とそれを支える学問分野を創出できる人材育成を使命とし、2020年4月に工学部を京都太秦キャンパスに開設する運びである。工学部は1学科で機械電気システム工学科のみである。

本学科で養成する人物像は「社会の人材需要に応えるべく、複数分野にまたがる分野横断的技術作業に英語でも日本語でも専門用語を使いながら従事でき、専門的知識・学術並びに教養と、世界で通用する先進性・多様性・倫理観を涵養し、複雑で複合的な問題に挑戦できる人材」としている。

本学科における「新しい工学教育」について紹介する。機械電気システム工学科は「設計生産」「ロボティクス」「計測」「制御」「力学」「材料」「イオニクス」「電磁気」「アクチュエータ」「エネ

ルギー」「デバイス」「回路」「通信」の13の専門分野を含む広義のメカトロニクスを扱い、主に以下のような特長的カリキュラムを提供する。

- ① 工学部で日本初の「キャップストーンプロジェクト」を導入する。
- ② 専門科目の講義をすべて英語で実施する。
- ③ ②のために、1年次前期に週10コマ(1コマ:90分)の英語教育を実施する。
- ④ 専門共通科目「物理工学」「工業数学」のコマ数は通常の工学部と比べて1.5倍配当。
- ⑤ 「体験先行型の学び」の導入。

①にある「キャップストーンプロジェクト」のキャップストーンとは、ピラミッドの頂上に置く石のことであり、“総仕上げ”の意味として使われている。キャップストーンプロジェクトは4年次に開講し、受講生は講義や演習、実習で修得した知識を基礎に、その応用として企業から提示された課題にチームで半年間取り組む。この総合的な経験が得られる実践的教育プログラムにより、課題提示のみでなく、進捗発表にも教員全員に加えて企業の技術者・研究者が同席して学生を指導するなど、産学協働で工学人材を育成する。なお、3年次にも「プレキャップストーンプロジェクト」を開講し、早期に企業活動に触れる機会を設け、学生のキャリア形成意識や学修意欲を高める。詳細については本学工学部の特設サイトをご覧ください。<https://www.kuas.ac.jp/special/engineering-capstone/>

もう一つの特長は②および③である。工学部開設2年目(2021年度)の9月入学組で40名の留学生(2024年度の実定員:日本人100名、留学生100名)の受け入れを開始する。その際、留学生には日本語運用力を求めず、専門科目については日本人と留学生を区別せず、混合クラスで英語を用いて教育する。そこで、日本人学生の英語力強化を図るため、1年次前期のみで「英会話Ⅰ」「英語文法Ⅰ」「工業英語Ⅰ」「アクテ

ィブ・リーディング」「アクティブ・リスニング」をそれぞれ週に2コマ、1週間で英語に関する講義を合計10コマ開講する。最終的に2年次までに合計21コマの英語科目を開講する。なお、本学科では21名の教員(教授、准教授、講師職)のうち外国人を7名配置し、教員組織の国際化も実現している。

④の1年次および2年次に開講する専門共通科目も特長の一つである。数学、物理、情報処理(プログラミング)を専門共通科目のコアとして重点的に履修するが、特に数学、物理は必ず講義と演習を含み、コマ数としては標準的な工学部カリキュラムの1.5倍の授業時間を確保している。これにより、物理現象を数式でモデル化して現象の本質を分野横断的に数式で理解し表現できる能力を涵養する。専門科目では、ノートPC及びソフト(MATLAB & SIMULINK)を講義・演習に積極的に導入し、複雑で直感的に理解しにくい多次元・非線形の数式で表される現象についても数値的に解き、現象の本質を理解し表現できる能力の涵養を促す。

もう一つの特長である⑤「体験先行型の学び」についても触れておきたい。入学後すぐに開講される実験・実習科目である「デザイン基礎」など計4科目、および「スタートアップゼミA、B」が1年次に配置されている。①のキャップストーンプロジェクトの履修と合わせて、問題発見能力、課題設定能力などの醸成に資すると共に、チームでの取組を通じたコミュニケーション力、チームワーキング力、複数回の発表機会を通じたプレゼンテーション能力、最終レポートを通じた論理的な文章構成力などの素養が涵養される。このほか、学部で履修する物理・数学8科目、情報処理(プログラミング)関連4科目、専門5科目には演習科目を配置していて、講義での履修内容を修得につなげる仕組みを設けた。学内設備として「テクノプラザ」「機械工房」「化学工房」「電気電子工房」を設けて、課外

活動の場も含めて学生は材料費無料・設備使用料無料で使用できるなど、「体験先行型の学び」を設備面からも支援している。

最後に

工学教育のイニシエーションは体験である。Early Exposure は必須であるが、これをシステムティックに行くことはなかなかハードルが高い。冒頭の著者の子供時代は身近に現場があったが、生産現場が海外に移転する中でこれを今の子供達に期待することは無理であろう。とすると、中学校、高等学校で本当に必要な科目は何なのかを考えていただくことを切望する。我々大学も精選するが、ぜひ高等学校でも精選していただき、授業科目を減らし、余裕あるカリキュラムとし、できればダイアーのように現場に生徒を送り出し、座学の実践が可能にできないだろうか。もちろん、高等学校と大学の接続はかけ声だけではなく、実質的に進めていくべきであろう。

工学の歴史に関わる部分は以下の文献を多く参考にしている。

大山達雄, 前田正史. (2014). 『東京大学第二工学部の光芒』 東京大学出版会.

1 著者が所属する大学の理事長は、小学校四年生の時に作ったモータの出来映えを普段褒めない理科の先生に褒められ、爾来、モータ大好き人間となり、大卒後、日本電産を創業し、現在、会長である。Early Exposure である。また、和歌山の島精機の会長が、現在の三次元織物機械を開発した経緯も参考になる。島会長のご母堂が軍手を作る内職をして家計を助けていた。夜なべ仕事でつらい。これを何とかできないか、手袋を手の平部と指部と分けた部品をつないで手袋形状にしていたものを、手首部分から編み上げていく事を考案し、苦心の末に実現できたことが端緒となる。このケースのアンメットニーズは、母の苦勞を減らしたい、である。そのソリューションとして、軍手編み自動機を開発した。その横展開でデジタル3次元織物機により完全カスタムニット製品をオンラインで受注発売するビジネスにまで展開している。これもある意味で、Early Exposure であろう。その意味でもインターンシップによる

体験は非常に重要であると信じている。

2 戦後すでに10年はたっていたが、まだ、米は配給制でお金がいくらあろうと割り当て以上の量を買うことはできなかった。朝食にパンを出したら、居候していた父の弟が、つぶらな瞳で米の飯はないのかと父母に言って二人が困っていた。

3 自動運転やロボットの社会実装が典型である。

4 前述の大学理事長は、価格は高いが、省エネ、高性能のモータを市場に出し、アンメットニーズである小型、静粛、エネルギー消費率半分、の製品で世界のマーケットシェアを獲得している。典型的な“置き換え”によるイノベーションである。

5 スンビン号、後の観光丸。二号船は、購入し、ヤパン丸、後の威臨丸である。

6 新幹線計画は、戦前の計画であり、土地収用、トンネル計画などはできあがっていたが故に、前回の東京オリンピックに間に合う速度で敷設できた。インフラの整備、教育体制の確立は、いずれも大きな方針で定め、時の政治体制に依存しない、現場の力で確実に進めて行くべきであると考え。ガバナンスの強化が声高に言われるが、著者は分散的な自立性と自律性がシステムの安定性を保存すると信じている。

7 勲一等旭日章を1901年授章。

8 前述の幕府開成所が明治政府により開成学校となった。

9 木戸孝允、伊藤博文、大隈重信、井上馨など。

10 高速増殖炉もんじゅの事故は、この過程で起こった。液体金属ナトリウムを輸送するパイプに温度センサーを設置する突起(パイプの外から見ればくぼみ)が設置されていた。人による加工であれば、突起の角は必ず丸みを取る。しかし、当時最新の加工技術であったCAD-マシニングセンタによる加工においては、機械の公差の範囲で“正確に”、設計記述通りに製作される。デジタルデータによるものづくりで、前述の技術者の暗黙知は実行されず、不幸にして液体と構造体の振動により、破断、ナトリウム漏れが起こった。もちろん、配管が破断したとしても、安全を確保できていないといけない。熱力学的に液体金属がどのような性質なのかを知らず、工学的にこのような事態を想定した配管構造になっていないことが主たる原因で、大事故に至った。想定外を想定しないといけない工学として、深刻に考えるべき課題の一つである。この教訓がありながら、福島第一原発の事故がその後起こったことを筆者は極めて残念に思う。