

新世紀の工学と人材育成：そのビジョンと倫理

笠木 伸英

1. はじめに

1998年の文部科学省の「競争的環境で個性が輝く大学」に向けた政策以降，あるいは2004年春の国立大学の法人化以降，大学キャンパスは何やらにぎやかである。大学は企業経営の手法などを取り入れ，自立と自律の達成に向けて組織を挙げて取り組むことが不文律となった。このような中で，大学において，かつてない日々のダイナミズムに身を置きつつ，何か先行きの不透明さを感じているのは筆者一人だけであろうか。大学が法人として自立し，自らの意志で歩いていこうとするとき，そこには資源的，財源的な束縛からいかに自由を担保するかという現実問題が存在する。主たる供給源は国であり，国の設定する土俵の上で，組織的にも，個人的にも資源獲得競争に参画せざるを得ない。つまり，まずは競争に勝たねば，組織としても，研究者としても生き残りを果たせない。そのような国の資源を獲得，消費することには当然責任と倫理が求められるにしても，国と大学がある距離を置いて対峙するバランスのとれた関係は，必ずしも制度設計に十分に組み込まれているとは言えない。

このような現状の打破に向けて，大学人の様々な提案や試みがあるが，それらと併行して我々の進める研究や教育の活動を支える理念的な基盤の脆弱さがあるように感じる。つまり，新時代の工学のビジョンと具体的な目標に対するコンセンサスが十分ではないのではなかろうか。特に，発展や変化の激しい工学分野では，個々の研究分野や目標技術が個別の価値観から語られたり，位置づけられる傾向が強く，相互の関係や整合性を有する保障はない。新しい時代を迎え，俯瞰的視点から工学のビジョンと目標を改めて定めることは，これからの技術と社会の健全な関係を描くことでもあり，また次世代を担う若者にどのような糧を教授すべきかという，大学人に課された重要な基本的課題といえる。筆者は機械工学を専門とし，学内の様々な機会に加え，21COE 機械システム・イノベーション，日本機械学会，経団連，海外アカデミーなどでこれらの課題について意見交換をする機会を得てきた。これらの経験を通じて考えるところをご紹介したい。

2. 21世紀の時代軸

過ぎ去った20世紀とはどんな時代だったのだろうか。まず，“右肩上がりの時代”であったとすることができる。技術の発達，産業の発達が生活の向上をもたらすと信じられていた。そして，我が国においても社会が目標を共有できた時代であった。表1は，米国工学アカデミーが選んだ，20世紀の20大技術革新のリストである¹⁾。これらの技術は，この100年間に開発され，大半は先進国社会の人々が容易に手にすることが出来るほど広く普及している。挙げられた個別技術の選

表1 20世紀の20大技術革新（米国工学アカデミーによる）

1. 電力・電化	11. 高速道路
2. 自動車	12. 宇宙船
3. 航空機	13. インターネット
4. 上下水道	14. 画像技術
5. 電子技術	15. 家庭用電化製品
6. ラジオ・テレビ	16. 医療健康技術
7. 農業機械化	17. 石油・石油化学
8. コンピュータ	18. レーザー・光ファイバー技術
9. 電話・通信	19. 原子力技術
10. 空調・冷凍	20. 高性能・高機能材料

扱には任意性があるろうが、地球上の生命誕生から 38 億年、そして 400 万年といわれる人類史上、20 世紀が科学技術の開発・普及、その結果生じた社会変化の速度の面では極めて異例な世紀であったことがわかる。テレビ、携帯電話、東京-大阪 3 時間、月旅行など、我々が夢見たことの多くは、すでに現実になっている。この 100 年間に、人の寿命は飛躍的に長くなり、例えばアメリカの平均寿命は 47 歳から 77 歳へ、日本でも 45 歳から 81 歳へと倍近くに延びている。

このように、20 世紀における技術の目覚ましい進展と普及は、災害や事故を防ぎ、産業を支え、人々の生活に豊かな物資を供給し、日々のストレスを軽減し、健康を促進し、病気を克服して長寿を可能にしてきた。技術は、間違いなく社会の要請に応じてきたといえる。この間、技術と工学は細分化と深化を通じて発展する一方、均質大量生産を目指す企業組織や集団においては、個の相対的な埋没が進んだ。また前世紀の特徴の一つは、自然を克服し利用することこそ、人間の主体性の発露と自由の拡大に他ならないとする、人間中心の自然観であった。

このような 20 世紀の単なる延長として新世紀を展望できないことは、多くの識者がすでに指摘するところである。20 世紀には、地球上の人口は約 16.5 億人から 61 億人 (3.7 倍) へ、年間消費エネルギーの総量は石油換算で 5 億トンから 90 億トン (18 倍) へ膨張し、大気中二酸化炭素濃度は 300 ppm から 370 ppm へと増加した。人口については、1987 年の 50 億人から 2002 年の 60 億人に増加するのに要した時間はわずか 15 年で、今後 2050 年には 94 億人、21 世紀に 100 億人を越えると予測されている。現在、この内約 11 億人が先進諸国に住み、石油換算で 53.5 億トンのエネルギーを消費している。一方、途上国の 50 億人が 49 億トンを消費し、1 人当たりで言えば先進国の約 1/5 である。現在、もし世界の人々が先進国並みのエネルギーを使えば、必要な全エネルギーは 300 億トンで、持続可能な技術的な解は存在しない。今後、先進諸国の人口はほぼ横ばいで、増加はもっぱら途上国であるから、2030 年で同様に見積もれば 390 億トンが必要で、気候変動の可能性からも極めて深刻と言える。その他にも、人口増加に伴う、一人当たりの水供給、穀物生産の減少など、マクロな数字には切実な現実が浮かび上がる。

従って、新世紀を迎え、人類社会の目標は、肥大化した人間圏を地球と共生し得る持続的なシステムとして再構築すること、一方で多様な価値観を有する人々に、健康で快適な生活と安全で安心な社会を保障することといえる。即ち、我々は、地球規模で解決すべき環境や資源エネルギーなどの深刻化な問題を共有しつつ、文化的生活、福祉、倫理、個人の尊厳などをいかに担保するかについても解決を迫られている。そして、技術と工学は、新たな知の創造と活用を通じて、この困難な課題を克服し、人々の生活の真の豊かさに貢献することであるに違いない。

3. 新世紀の我が国の国家像

我が国は、戦後の困窮の時代から回復して既に先進国の仲間入りを果たし、その国土の狭さとは裏腹に、世界の政治経済の中で主要なプレゼンスを示す位置にある。日本の GDP は約 500 兆円で、世界の 1 割強といわれる。少なくともその規模と影響力ではトップランナーの仲間入りを果たしたのである。しかし、日本が世界の文化文明、そして平和に貢献するためには、長期的な国家ビジョンをもって新世紀の国造りを進める必要がある。2000 年の第 2 期科学技術基本計画では、「知の創造と活用により世界に貢献できる国」、「国際競争力があり持続的発展ができる国」、「安心・安全で質の高い生活のできる国」の 3 つの基本理念を掲げている。ビジョンに基づく国造りがようやく始まった。

技術における我が国の活躍は、すでに優れた工業製品を世界に供給してきたものづくり実績に裏付けられており、日本製品の品質、安全性、省物資、省エネルギー、製造コストなどでの優位性は世界に比類無い。ここにおいて機械技術分野の先達らの貢献は目覚ましいものであった。今後は、さらに節約技術、回復技術、文化融合技術など、日本独特の文化と感性に根ざした技術²⁾による貢献に期待がかかる。日本独特の細やかな省エネルギー技術がよい例で、技術移転によって、どれだけ世界の環境にも経済にも貢献できるか計り知れない。今後先進各国でも予想される人口減少、高齢化、環境・エネルギーの課題を我が国が率先して克服し、豊かな国家社会を造る模範を示す良い機会と捉えるべきであろう。最近、日本の伝統文化や環境との調和を重視する

思潮が、世界の多くの人々の共感を得ていると聞くことも多い。

日本は、乏しい資源しか持たず、狭い国土に高い人口密度を抱え、世界の中では特殊な言語を話す国とあって良い。我が国の人口は昨年末で1億2,800万人弱、人口統計史上初めて減少に向かい始めたが、この傾向は今後も続き2050年には1億人程度（世界の1%）となると予想されている。産業を支える生産年齢人口（15～64歳）は戦後一貫して増加を続けたが、1995年の8,700万人のピーク後、2030年には7,000万人弱、2050年には5,400万人弱（現在より15ポイント低い、対人口比53%程度）と予想される。少子高齢化は、産業労働力の減少、経済の低調、そして世代間負担のバランスの急速な崩れにつながるため、憂慮すべき事態といえる。国や経済界がその対策を検討中である。労働人口が毎年0.5%で減少する中、生産性の1%の向上が達成できれば人口減を補うことが十分可能で、2%を達成できれば経済成長も可能といわれる。そのためには、何と言っても、技術革新、そして女性や外国人を含めた優れた人材の育成が鍵となる。知育、徳育、体育によって人材国家を目指し、個人を基軸とする活力ある社会を創ることが目標となる。

4. 工学の役割

以上の認識から、今求められているものは、21世紀に相応しい工学像であり、技術者像であり、それらを後進へ示すことである。改めて、工学が新世紀にどのような役割を果たすのか、果たすべきなのか、歴史を振り返りつつ、ビジョンと目標を構築する必要がある。素粒子論、高エネルギー物理、宇宙科学、生命科学、材料科学など、先端科学の進展が今後とも予想されると同時に、工学で対象とする技術や人工物システムは一層複雑巨大化しつつある。この広範な学術・技術のスペクトルの狭間で、俯瞰的な視野と共に、材料、化学、電気、機械、建設などの工学各基幹分野はどのようなポジショニングを取るのだろうか。

筆者が専門とする機械技術は、構造物、エネルギー・資源、交通物流、情報通信など、人間生活のライフラインを支え安心安全を担保すると共に、新技術を開拓し新しい価値を社会へ送り出す重要な役割を担っている。そのような技術を創造する知の体系としての機械工学自体にも深化と拡がりが見られる。いわゆる4力学を基盤としながらも、取り扱う時空間スケールが拡大し、フェムト、ピコからギガ、テラといった言葉が頻繁に語られるようになった。また情報、物理、化学、生物学などを取り込み、マルチスケール、マルチフィジックスへの挑戦や、コンピュータ、ネットワーク、ロボティクス、NEMS/MEMS、新エネルギー、バイオ医療など、機械技術分野の延伸が進んでいる。その中で、力学を基礎とする機械工学の手法やアプローチが新分野・融合分野でも有効であることも改めて分かってきた。従って、学融合、学際領域の開拓を進める一方、新たな機械工学ディシプリンの構築、体系化、構造化を進める必要がある。このことは、他の工学専門分野も同様ではなかろうか。

このような専門分野のディシプリンの確立、マッピング、あるいは学術大系化は、研究や教育に参加する若者にとって道案内役として重大な役割を負う。特に、教育プログラムの設計において欠かせないはずである。研究資金が豊富に投入される先端科学分野により多くの若者が導かれることは当然の結果かも知れないが、それが彼らのプロフェッショナルライフを貫く基軸となり得るかどうかは別の問題であろう。現在の研究者や教育者が、未来からの訪問者である若者に何を携えて応えるかは、世代の責任として、高度の倫理にも触れることである。

5. 国を支える技術者の育成³⁾

知を基盤とする成熟した市民社会、すなわち知識基盤社会では、政治、経済、産業、国土、交通、医療、教育など、高度複雑化した社会システムを創造し、健全に運営、経営する人材としての専門職業人が必要である。なかでも技術者は、建築構造物、エネルギーシステム、交通輸送機器、情報通信システムなどを支える、高度な科学技術専門知識と豊富な経験を有する専門職業人*として位置付けられるといえる。そのような技術系人材育成は欧米でも主要目標となっているが、

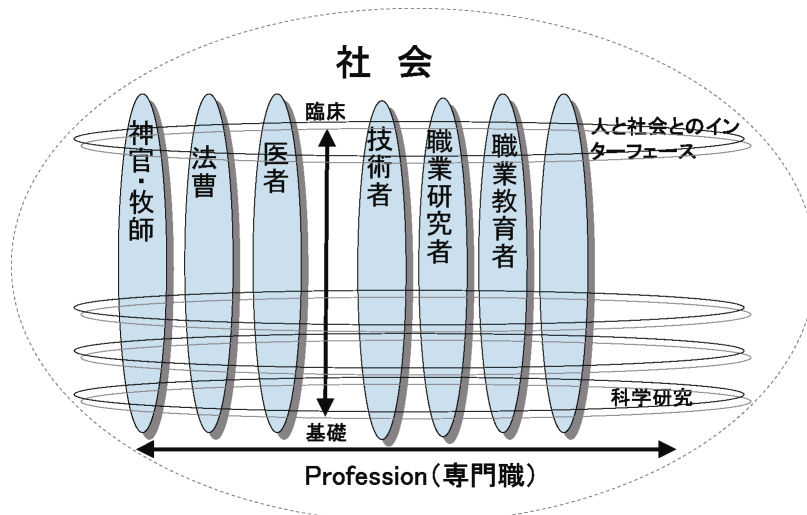


図1 専門職に支えられる知識基盤社会

我が国の第3期科学技術基本計画でも、インフラ整備などの「モノ」から、競争力の根源である「人」に着目して投資する方向性が強調されている。関係省庁、技術系学会において、熱心な議論が継続している。少子高齢化と理工系離れによる技術者の“数の問題”と、新時代のイノベーションを可能とする人材の育成の“質の問題”が存在する。

日本の高等工学教育を経た技術者人口は、約240万人といわれる。その中には、約60万人の研究者、5万人の技術士が含まれる。毎年11万人の工学系の卒業生が輩出されるが、そのうち7割は大学学部、3割は大学院という。そして今後は大学院進学率が上昇する傾向にある。技術者人材の数の問題は、少子化と共に若者の理工系離れにより加速する。ものと情報に溢れた環境で不自由なく育つ現代の若者には、一見難しそうな数学や理科を要し、厳しい競争に曝されながら相応に報われない姿に映る技術者像が、自分の人生の有力な選択肢となりにくいことは容易に理解できる。欧米諸国でも、医者、弁護士、事業家などに比べて技術者の社会的地位は高いとは言えないが、技術によってのみ国を支えることが可能な我が国では、この事態を看過できない。特に幼少期の学校や家庭での教育の改善と共に、技術業が魅力ある職業となるような産業界や行政の努力が必要である。

工学教育の質の問題は、新世紀のグローバル社会における技術者に求められる資質の変化に起因している。すなわち、専門知識やスキルの教育に留まらず、社会・経済・環境に関わる文脈の中で形成される、21世紀型の工学教育体系の構築が望まれており、特にディシプリン境界型、横断型教育による俯瞰的な視野の付与が意図されねばならない。さらに、専門知識を使いこなしてプロジェクトを遂行するためのマネジメント力、チームワーキング力、リーダーシップなど、技術者としてのコンピテンシー（行動様式）の付与が望まれている。

国際的に競争力を有すると思われる学部教育に対して、大学院教育の強化は喫緊の課題といえる。大学院教育の本質は、講義演習の体系の中で養われる専門知識と応用力、そして未踏分野にチャレンジする様々な研究活動の中で養われる計画力、実践力、マネジメント力などコンピテンシーを付与することである。知の創造の観点からは、ものづくりを追いかけた経験知・解明知

*) 元来、専門職(Profession)とは、「社会が必要とする特定の業務に関して、高度な知的訓練と技能に基づいて独占的なサービスを提供するとともに、独自の倫理規程に基づいた自律機能を備えている職業」とされ、単なる職業(Occupation)とは区別される^{6,7)}。専門職が満たすべき条件について厳密な共通理解はないが、知的訓練、社会サービス、サービスの独占権、独自の倫理規程、集団としての自律機能などの要件を備えているものが多く、医師、弁護士、公認会計士、建築家、技術士などは世界的に見ても専門職として認知されている。さらに、法律や国家試験などで職業資格が規定されていなくても、一般に技術者を当該分野の専門家さらには権威者として理解され、その判断や見解を社会は批判なく受け入れる傾向にあることなど、技術者の社会に与え得る影響の大きさを考えれば、その自律性を専門職と同等に考えるべきとも言える。

から、ものづくりを創造する先導知を目指す時代に入っている。これに応えるためには具体的な出口を意識したパスツール型研究⁴⁾の推進が有効であり、そのような場での若者の鍛錬が重要である。また、技術者としての基礎固め (Pre-engineering) を目標とする学部につき、大学院は Professional School あるいは Research School としての機能など、明確な教育目標を設定すべきであろう。さらに、コンピテンシーの涵養は、近年の欧米社会では初等中等教育から重視され、大学・大学院においてはキャンパスを離れた様々な個人活動を通じた体験的研鑽を奨励する例も多く、我が国は組織的取り組みで明らかに遅れている。残念ながら、ペーパーテストだけに過度に傾いた若年層の育成環境が、ひ弱な大学生を生み出している。従って、我が国の大学・大学院には、コンピテンシーの付与を狙いとする教育プログラムを積極的に設計し、組み込んでおく必要がある。

大学教育改革はこれまでも営々と行われてきたが、その効果が十分でなかった主たる原因は、改革の議論が教員だけで行われてきたことかも知れない。全てのステークホルダーがビジョンと目標に対する理解を共有し、同じ目線の高さでオープンに議論を進める必要がある。すなわち、教員に加えて、産業界、そして学生・大学院生の参加による継続的な議論の存否が鍵と言える。例えば、21COE プログラムで試行されたような、研究室や専攻を横断した大学院教育プログラムを、開かれた協働によって育て上げるスキームが有効である。

6. 技術者・研究者として

科学技術の発達と共に、科学的知識に基づいて仕事をする専門家が犯す不正行為が、続出してきた。技術に関わる人間やシステムの欠陥が露呈して起きた昨今のトラブルは重大である。市場の自由化に伴う産業界の競争の激化、研究開発サイクルの短期化、技術と経済・社会の関係の変化も影響していると考えられるが、これらを繰り返さない技術者・研究者の職業人としての決意と弛まない研鑽が望まれる。研究活動の不正は、高等教育研究機関の独立法人化などと共に、研究者を取り巻く研究環境が大きく変化してきたことにも帰因しているといわれる。すなわち、研究活動のリソースが傾斜配分される競争的研究環境が形成されてきた。また、研究者のポストには任期制が増え、ポスト獲得にも業績評価に基づく競争が導入され、研究者には短期間で成果を挙げることが求められる傾向が強まってきた。

図2は、責任ある研究行動を保証する二つの要素⁵⁾を示したものである。研究の公正誠実性は、技術者・研究者の規範・規則、そしてその精神に照らして相応しい行動かどうかに関わり、研究倫理は、道徳的な原理から考えて何をすべきかが問われる。前者は、現代の科学技術研究の多くにおいて、その活動は専門職のそれとして位置づけられるので、専門職コミュニティ (学協会)、所属する機関、あるいは国が定めるように、研究上の専門職倫理に基づく責任を果たすことが要請される。このことは、社会が技術者や研究者を信頼し、その研究開発活動を安心して受け入れるための最小限の約束事と言える。

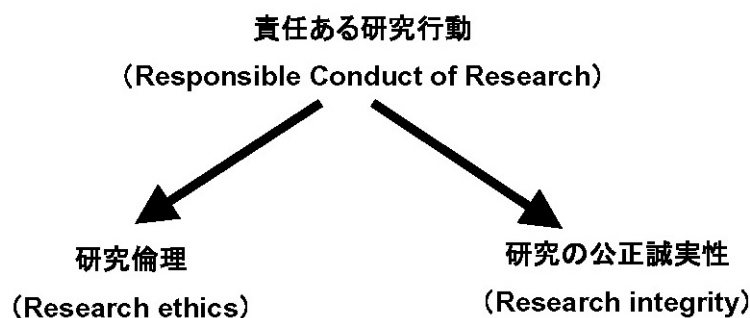


図2 責任ある行動

後者の研究倫理とは、より高い倫理的な、かつ俯瞰的な観点から、どのような研究課題に取り組むか、研究目標とする技術は何を優先して考えるべきかなどに関係する。臓器移植、クローン技術、軍事防衛技術、環境開発、そしてエネルギー・資源の消費など、研究課題の設定自体にも異なる倫理的な判断があり得る。先端技術に基づく高度な医療は、それが裕福な者だけが手にできる便益だとすれば、それを経済的な弱者にもアクセス可能なものとするのが、技術者・研究者としての高い倫理と言える。現代社会では、地球上の地域や国によって、生活レベルに大きな格差があり、その格差の存在によって環境汚染や気候変動が現在程度に留まっているという現実がある。エネルギー・環境問題はそうした地域間格差、そして現代と後世の人間社会の時間的な格差の解消という困難な倫理的課題を包含していることも見逃せない。そういった視点に基づいた技術者・研究者の倫理的洞察力、高い意識が新世紀に求められる。それに応えてこそ、社会の多くの人々は技術の恩恵に安心して浴し、さらには社会が技術者・研究者を尊敬し、若者が憧れることになるのではないだろうか。

大学・大学院の構成員である若者にも、教職員と同様に高い倫理観が求められる時代になった。有数の大学へ入学する若者達は、同世代の中選ばれた少数の者として、多くの社会的資源が供与されるのである。それは、社会が、彼らが（少なくとも、国立大学卒業者が）大学・大学院卒業後には社会を思い、他者を思い、様々な価値を還元してくれると期待するからである。つまり、恵まれた高等教育を受ける若者には、他者に喜んでもらえる仕事をするを自らの最高の価値観とすることが期待されているのである。裏返して言えば、本来大学はそのような人材を選抜せねばならないはずであり、そのような倫理観を涵養する教育プログラム、教育環境を提供する責務がある。東大では小宮山宏総長が「他者を感じる力」を教育目標に含めたが、極めて適切なことであり、それを具体化する教育プログラムの設計が工学部でも議論されねばならない。

学生・大学院生には、大学という組織の構成員としての倫理的役割も生じる。それは、若者ならではの感性を生かして、組織の健全な運営の保持に寄与し、時には教員や経営管理部門とも対峙する気概を持つことである。大学院生、特に博士課程在籍者は、すでに、学生というよりも大学における研究員という位置づけのほうが相応しい状況にある。大学における協働に積極的に参加することは、若者の最高の倫理を達成するひとつの道筋なのである。

7. おわりに

新世紀の人類社会の希求するもの、そして国造りの方向性を踏まえた工学ビジョンと目標の必要性、人材育成、技術者・研究者の倫理について私見を述べた。戦後、筆者を含めて団塊の世代が見てきた半世紀は、今日よりは明日、明日よりは明後日への継続的な成長と拡大の道程であり、幸い我が国は国際紛争に巻き込まれることなく、恵まれた時代を生きてきたといえる。技術者は産業の隆盛に確かな役割を果たし、同時に工学の知の体系も著しい発展を遂げてきた。そして、新世紀に入り技術の底流には大きな変化が生じている。大量の生産と消費を可能にした技術から、人類社会の持続性に寄与し、人を支える技術へのパラダイムシフトといえる。よりよく生きるための技術といえる。そのような21世紀の社会の期待に応えるためには、今、工学は何をせねばならないのか、ビジョンと目標を描き、分かりやすく示す必要がある。そして、工学分野のディシプリン再構築と共に、総合・統合・融合といった工学のもうひとつの機能の強化を再設計することが求められる。それらは、ボーダレス化した世界の中で進展する科学、技術とも協調、整合したものでなければならず、そのためには大学人と広く社会との協働が必要であろう。

工学のビジョンと目標を達成する教育プログラムの整備も焦眉の急である。大学院教育プログラムの再構築と実践が望まれる。教職員と学生が共有する目標を目指して協働する場としての大学院を設計し、知の創造、活用を担う活力ある人材の育成を実現せねばならない。特に、専門的な知識やスキルと同時に、それらを活かして人類社会に寄与する具体的な成果に結実させる力としてのコンピテンシーを付与するためのプログラムを組み込む必要がある。それらは、世界の地域間格差、あるいは未来との世代間不平等の克服にも思いを馳せる、真の技術者、研究者としての高い倫理観をも涵養するものでなければならぬ。その際、伝統と歴史を有する美しい国土に

育った日本人に脈々と受け継がれてきた高い道德観，倫理観に由来する日本の方法論，特に人間と環境の調和を最高の善とする共生の思想を忘れないようにしたいものである。

<参考文献>

1. National Academy of Engineering, “Greatest Engineering Achievements of the 20th Century,” <http://www.nae.edu/>.
2. 月尾嘉男, 「縮小文明の展望 千年の彼方を目指して」, 東京大学出版会, 2003.
3. 笠木伸英, 「イノベーションを創出する工学系人材育成に向けて」, 学術の動向, 2006年12月, PP. 29-35.
4. D. E. Stokes, “Pasteur’s Quadrant – Basic Science and Technological Innovation,” Brookings Institution Press, Washington DC, 1997.
5. N. H. Steneck, “Fostering Integrity in Research: Definitions, Current Knowledge, and Future Directions,” *Sci. Eng. Ethics*, 12 (2006), 53-74.
6. C. E. Harris, M. S. Pritchard and M. J. Rabins, 日本技術士会 (訳編), 「科学技術者の倫理 その考え方と事例」, 丸善, 1998年9月.
7. 大橋秀雄, 「これからの技術者」, オーム社, 2005年10月.