

1. 変わりゆく機械

筆者は、子供のときから玩具や時計などの身近な機械を分解しては又組み立ててみるのが好きだった。壊れたものを修理して褒められることもあったが、むしろ正常なものまで分解して親に叱られた記憶の方が多い。機械工学を一生の専門に選んだのも、案外このような幼児体験の延長だったのかもしれない。

大人の玩具といえば自動車が筆頭に挙げられる。自動車の修理も著者の趣味の一つで、どこかが具合が悪くなるのを待っていたふしがある。筆者の自動車歴は30年余に達するが、最近の数年を除けば専ら中古車に乗っていて、この趣味を大いに満喫したものである。そのお陰か、ボロ自動車に乗っていても未だかつて予想外のtroubleで立ち往生した覚えは一度もない。

この数年間に、自動車の電子化が急激に進んできた。engineの燃料及び排気ガス制御、自動変速機制御、anti-lock brake 制御、空調制御などはそれぞれに専用のCPUを持つコンピュータ制御に変わり、自動車の性能と機能は驚くほどの進歩を遂げた。筆者が路上で立ち往生を経験するようになったのは、皮肉にもこのような高機能な新車に乗るようになってからである。中にはwire connectorの接触不良のような単純なケースもあったが、制御用boardを新品と差し替えてやっと直った場合もある。自動車は急速にblack box化し、自動車いじりの趣味からはすっかり縁遠いものになってしまった。

自動車のこのような変化は、変わりゆく機械の一つの典型といってもよい。しかしここでは、もっと単純な場合を例にとりてこの変化を抽出してみよう。”ある方向への変位が、時間とともに図1の軌跡に従って変化する機構を設計せよ”と学生に課題を与えるとする。筆者が学生の頃だったら、間違いなく図2のようなcam駆動方式をとり、cam profileの設計に大方の時間を注ぎ込んだことであろう。頭のよい学生だったら、その軌跡を近似的に実現する巧みなlink機構を考えだしたかも知れない。今の学生ならほとんど例外無しに図3の方式で設計する。これはx-y tableと同じ原理であり、ball screw のねじ軸を servo-motor 或は pulse motorで回転してnut側を与えられた条件に合わせて変位させる。motorの駆動電源は、別に準備された制御プログラムに従いinterfaceを介してCPUから直接制御される。

cam設計のベテランに言わせれば、価格の問題を別にしても、後者の設計は大げさで回りくどく、また高速の変化には適さないと一笑に付すかも知れない。しかし学生のこの選択には、時代の流れを感じさせる。後者の特色は、同一のハード構成で自由な軌跡が実現でき、かつその変更が容易なこと、二次元、三次元への拡張が容易なこと、カタログ掲載の標準部品の組合せで足り素人でも設計できることなどである。一口にいえば、ハードの難しさをソフトに肩代りさせているわけで、設計者の仕事は、良いソフトウェアを自作することに結集される。

図2が一つの機械要素であるとするれば、同じ機能を実現する図3のすべての構成要素も

また機械要素である。CPUボードも、interfaceボードも、制御ボードもすべて特定の機能を実現するための新しい機械要素であり、ボルトやナットと同類と考えればよい。同様に、かつては無に等しかったソフトウェアもまた新機械要素の一員であり、機械の高機能化、知能化には決定的な役割を担っている。このように考えれば、機械工学はエレクトロニクスを始めとする新興の分野に押されて縮退するどころか、これらを次々に同化して永遠にその魅力を失うことはない。機械工学教育の改革は、まずこの認識から出発しなければならない。

2. 新しい機械工学とは

機械工学とは機械の企画、研究、開発、設計、製作、運転、保守、環境、廃棄などに関わる学問全般をさし、またその視点も機械固有の問題から人間、社会、地球との関係に至るまできわめて広い。機械とは、意図された機能を実現するための人工構造物を指すが、船舶、航空機のように固有の学問分野が存在するものについては、それを除外するのが普通である。

現在大学における機械工学教育は、様々な名前の学科で行なわれている。発祥の機械工学科を筆頭に、産業機械、生産機械、生産工学、機械システム、機械制御、機械情報、機械物理、精密機械、動力機械、エネルギー工学、応用機械、船用機械、電子機械、機械電気、交通機械など様々な学科が存在し、それぞれに特色を出そうと努めている。本稿では、そのような学科細分化の枠を越えて、広い意味でのmechanical engineerを育成するための学部レベルでの機械工学教育を論ずるつもりである。

機械工学は、英語では mechanical engineeringと呼ばれるように、mechanics即ち力学をその基礎におく学問とも解釈される。かつての機械工学はまさしくその通りであり、図4に示すように材料力学、機械力学、流体力学、熱力学の四力学をみっちり教え込み、それに応用・統合知識としての設計学や加工学などを上乘せして機械工学を形作ってきた。そこにおいては、軸受、歯車、継手などの伝統的機械要素が専ら使われ、運搬機械、工作機械、発電所など様々な機械製品や工場・プラント群を産みだしてきた。

20世紀後半の技術は、電子計算機の浸透によって計り知れない影響を受けた。機械工学もまた例外ではなく、前章の実例で述べたようにCPUを機械要素として取り込む新機械工学時代に突入した。図5はそれを模式的に示している。従来の力学ベースの機械工学の上に、計算機科学、情報工学、system工学などの論理・手法ベースの学問が重ねられ、それに連続体の枠を越えるための分子工学、量子工学などが加わって新機械工学を構築する。その上には、より高機能で知能化された機械製品が花咲くはずである。

日本ではかつて重厚長大が過去の遺物とされ、軽薄短小がもてはやされた時代があった。しかし宇宙ステーションの打ち上げには巨大なロケットを必要とし、その開発には今日なおきわめて困難な課題が山積している。問題はサイズや重量の大小ではなく、機能の高度さである。日本機械学会は、1987年の創立90周年を機に図6のkey phraseを採用し、100周年目を目指して機械工業の変革を方向付けることにした。伝統的な機械工学を力のメカで、新機械工学を知のメカで象徴し、変化の方向を明確に打ち出している。

3. 学生のneedsと産業界のneeds

機械工学教育を考えるに当たり、それが機械技術者が現実に必要とする知識や能力に役立つか、即ち学生のニーズと合致するか十分検討しなければならない。東京大学の機械系学科の実績（機械工学科，産業機械工学科，舶用機械工学科の学部及び修士卒業者を対象）でみると，図7に示すように最近5年の間に就職先の急激な変化が起こっている。かつては素材産業（鉄鋼，セメントなど），重機械（造船，重工業など），自動車，電機（重電機，家電など）に代表されるいわゆる製造業に約80%の学生が就職していたが，最近では製造業と非製造業が約半々ずつ分かちあうようになってきた。非製造業では，電力・ガスなどのエネルギー産業，鉄道・航空・運輸・流通産業，電話・出版を始めとする通信情報産業，官公庁，商社，金融（銀行，証券，保険），ソフトハウスなど実に多方面にわたって機械の卒業生が浸透している。

製造業の中味を見ると，コンピュータ，電機，精密機械が増え，素材や重機械の減少が著しい。またかつては主流を占めていたハードウェアの開発・設計・製造に従事する技術者は半分以下に減り，システム開発やソフトウェア開発に従事するものが増加の一途を辿っている。このような現状を考えると，機械の学生全員に力学の素養をたたき込むのが果たして必要かどうか疑問がわいてくる。力学系の基礎科目に熱中する学生を見付けるのは難しいが，コンピュータの前に座り込んで時間を忘れる学生はいくらでもいる。学生のneedsで見る限り，力学の重みが減っている現実是否定できない。

学生は別として，産業界の第一線で活躍している機械技術者に”材料力学を全く知らない機械技術者を送りだしてもてもよいか”と尋ねてみると，答えは一様に否定的である。たとえsystem engineerのようにソフト主体の技術者に聞いてみても，同じ答が返ってくる。機械出身のSEが computer scienceやinformation engineering 出身のSEと違う点は，機械そのものを理解できる強みにある。そのことが，実際に働いてみて実感として判ってくるらしい。産業界が我々に求めているものは，あくまでシステムや情報に強い機械技術者であって，機械を知らないcomputer kidsではない。

機械工学教育は，学生のneedsと産業界のneedsを共に念頭に置き，かつ機械工学の将来を展望しながら考えなければならない。機械工学としてのintegrityを保ちながらそのidentityを主張するためには，少なくとも学部教育のレベルでは，力学教育に固執するとか，或はそれを放棄して情報工学寄りに過度にシフトするなどの単純な方策は許されない。限られた時間枠の中で，新機械工学時代にふさわしい新しい科目を認知・導入する一方，伝統的科目の合理的統合によって，そのための時間を産みだしてゆかねばならない。そのためには，縄張り意識を捨て，機械工学全体を統合的に把握する能力がすべてのスタッフに要求される。

4. 教育組織の変遷

東京大学では，建学以来引続き学部一学科一講座の縦割り組織を取ってきた。講座（lecture chair，本来ドイツの大学のLehrstuhlに由来している）は，教授1，助教授または講師1，助手及び技官計2〜3名からなる末端組織で，特定の専門分野に対して教育・研究の責任を負っている。ちなみに筆者は，流体力学及び流体機械講座担当の教授で，現在は助教授，2名の助手，博士課程4人，修士課程8人の大学院生，卒業研究をする8名の

学部学生、3名の研究生と共に総計約25名のグループを形成している。1講座に大学から支給される年間の教育・研究費は500万円弱（人件費を除く）であり、これに科学研究費補助金と産業界からの研究費を合わせて運営している。

時流に支配されずに学問の継続性を保ち、かつ後継者の育成に現任者が責任を持つところに講座制の利点がある。反面、新興の学問分野への対応が遅れ、とかく既存の学問分野に固執する弊害が生ずる。最近のように学問の発展が目まぐるしい時代では、講座制ではとかく後手後手にまわり易い。日本国文部省は講座制を採る国立大学に対し、数講座をとりまとめて大講座制に移行し新興分野への対応を円滑にするよう勧めているが、その例はまだ極めて少ない。

講座の名称や担当範囲を変更することは、比較的容易である。従って、講座制でも運用に留意すれば、十分変化に対応できる筈である。これに対し、国立大学の学科名称を変更することは、予算要求事項として取り扱われ、かなりの困難をともなう。60年代の半ば、日本の造船業が最盛期にあった頃、産業界の要請を受けて機械工学科から船用機械工学科を分離独立させた。それから20年余、造船をめぐる状況は一変したにもかかわらず船用機械工学科はいまだに存在する。新興の学問分野に対応し、それにふさわしい名称変更を求める我々の申請が一日も早く受理されることを願うのみである。

表1は、東京大学機械工学科の講座内容の変遷を示している。1965年には産業界の強い要請に応じて学生定員を倍増し、学科も機械、産業機械、船用機械の3学科に増えた。我々は大きな機械工学科を希望したが、学科のサイズを統一したい文部省は学科の分裂を要請してきた。爾来この3学科（以下機械系学科と呼ぶ）は学務、人事、予算などすべて合同で運営しており、実質的には一つの大学科である。

1965年の変化を第一次の組織改革とすれば、我々は現在第二次改革を計画中である。改革の主眼は三つあり、第1は情報関連の分野を強化すること、第2は科学と技術の境界から生まれる萌芽技術に対応すること、第3は個よりも群に着目するシステム手法の増強を図ることである。この計画が実現すれば、我々のスタッフは、機械基礎、機械システム、機械情報の3分野にほぼ等分され、少なくとも21世紀まではこの態勢で臨もうとしている。

5. カリキュラムの変遷

東京大学では、入学後の1年半は全員教養学部にも所属し、いわゆる教養課程を履修する。理科系の学生でも法律や経済学などの社会科学、第二第三の外国語などの履修を通じて社会全般に対する広い視野を持つようにするのが目的で、賛否両論にさらされながらも既に35年の歴史を重ねている。専門は残りの2年半の間に履修し、合計4年で学士が誕生する。

機械工学は、従来から広い範囲を包含し、学生がその全容をつかんで卒業するのはなかなか難しかった。大学院の入学試験で学生が進学の動機として述べる言葉は、きまって”もっと勉強したい”の一言である。機械工学の大海に翻弄され、学生が胸を張って卒業する気になれない状況は十分理解できる。新機械工学になると、勉強の範囲はまた格段と広がって来る。

学部学生が、機械技術者としてのintegrityを保ちながら、ある程度自信を持って卒業でき

るようにするにはどうしたら良いか。これに対して、我々は次のような方針でカリキュラムを運用している。

1) 機械技術者としてぜひ必要と思われる基礎的な講義を厳選して指定科目とし、その3/4以上を履修することを要求する。

2) 必修は、実験、実習、設計製図、卒業論文の実技系科目にとどめる。

3) それ以外は、学生の自由選択に任せる。学生が専門家としての自信を持てるよう、機械系の学生を、mechanical science, energy system, design and production, information and control の四つのコースに分け、それぞれのコースにふさわしい科目を選んで履修を勧める。

4) 卒業論文で最新の研究課題の一部を分担させ、state of the art と関わる体験を持たせる。

機械系学科の2年次後半、3年及び4年の学部学生に対するカリキュラムの変遷が、表2に示されている。変化を明確にするため、1965年以前のもの、現在のものとの対比が示されている。1965年以前は、力学系を中心とする重要講義科目は必修(*印)に指定され、合格が卒業の要件とされた。また表には示されていないが、他の主要な科目は限定選択に指定され履修が推奨されていた。その後新しい重要な講義が導入され、機械工学のscopeが広がるにつれてこの制度が見直され、現在では上述の原則にしたがって変更されている。講義の必修科目は全廃され、代わりに指定科目の3/4以上の履修を条件付けることによって、機械技術者としてのidentityを保証しようとしている。指定科目には、機械系全体に共通な科目(#印)と、courseごとに指定する科目がある。現在、必修と指定科目の3/4を履修するだけで卒業単位の75%を満たしてしまい、学生の自由度が低すぎるとの指摘がある。たしかに、機械の学生が農学部で発酵の話の聞いたり、あるいは経済学部で経営学を学んだりすることは、これからの多様性の時代にますます重要となろう。専門家としてのidentityを持って卒業させるために、一定の卒業単位のどこまでを占有してよいかは議論を要する点である。

新機械工学に対応するためのカリキュラム変更が現在熱心に検討されている。量子力学など連続体の殻を打ち破る科目、産業や生産のsystem手法に関する科目の導入に加え、最大の重点はsoftware工学などの計算機科学・情報工学関連の科目の強化に置かれている。新科目を列挙するのはやさしいが、導入には、既存科目を整理・統合するとともに選択の大幅な自由化を行なうことが不可欠である。新カリキュラムを実施するまでには、多くの議論が残されている。

6. 終わりに

本稿は、昨年11月、大韓機械学会秋期学術大会に招かれて行なった講演の内容に沿って纏めたものである。機械工学教育の総論と言うより、むしろ東京大学機械系学科の実状紹介に終わっているが、韓国の同業諸兄のご参考になれば幸せである。これを機に、機械工学教育の分野でも日韓の交流と相互理解が一層進むことを期待します。