21世紀の材料教育の諸課題

黒　田　光太郎*

1. はじめに

21世紀になってすでに10年が経とうとしている現在，高等教育は大きな変革期を迎えている．産業が変わった．製造主軸が少品種大量生産から多品種少量生産へと移った．技術空洞化の懸念をよそに製造拠点の海外移転が進んだ．その背景には産業構造の大きな変化がある．

教育も変わった．大学は，進学希望者の“全員入学”が可能となる規模にふくれあがり，学力や社会生活の状況が“多様な学生”を抱えることとなった．その中で，理科離れ，工学部離れが話題になり，加えて，工学部卒業生の製造業離れが進んだ．

こうした中で，工学そして材料教育はどうあるべきか．教育で増大しつつある分野固有の知識・技術から，学際的・先端的な知識・技術までを，どこまでどのように学べばよいのか．学部で何を学び，大学院で何を学べばよいのか．次代を担う人材が科学技術への興味をもち，工学そして材料に興味をもつためには，教育は何ができ何をすべきか．大学と産業界は技術者育成に関してどのように連携していけばいいのか．

本稿では，今われわれに求められている材料分野での高等教育の課題を幅広く検討したい．

2. 材料教育の歴史と現在

欧米や日本の理工学教育の導入課程を概観すると，大学をはじめとする高等教育機関で科学技術教育が主要な位置を確立するのは19世紀後半であった．当時の主要な材料は金属であり，採鉱冶金技術は主要な産業基盤技術であり，採鉱冶金学として多くの高等技術教育に取り入れられている．日本における工学教育は欧米にそれほど遅れることなく，1873年に開設された工部省工学寮に始まる．また，工学教育への偏見がなく，当初から大学教育の中で工学が主要な位置を占めることは，欧米の工学高等教育と大きな違いでもあった．19世紀後半に冶金学として材料研究のパラダイム形成がされ，20世紀前半に物理学さらには量子力学の影響もあって，第２次世界大戦後に，冶金学から材料科学工学(Materials Science and Engineering, MSE)へのパラダイム転換が図られた．これについては拙稿[1]を参照していただければ幸いである．

最初のMSE学科は米国のNorthwestern Universityに1950年代後半に設置され，多くの米国の大学では1960年代後半からMSE学科への再編が進んだ．こうした米国の動きについては，小岩の論文[2]に詳しい．一方，日本では1960年代は高度経済成長期の真っ只中であり，冶金学あるいは金属学がMSEに転換する積極的必要性は産業界との関連では見出すことが出来ない．日本の鉄鋼業は1973年の粗鋼生産量１億２千万トンに向かって，大きく成長しているところであった．

1960年代後半の大学闘争後の大学改革の動きは鈍く，大学内での組織的および全学的なカリキュラム改革は約20年間ほとんど進展しなかった．1991年に大学設置基準の大綱化が実施されて，大学改革が大きく進むなかで，大学や高専の金属系学科は「材料」を含む名称をもつ学科に改組されていった．その過程で，材料主体の学科ではなく，機械系と組んだ学科や，化学系と一緒になる学科が生まれるなど，材料系の存在基盤を揺さぶる事態が生じた．米国では冶金学科が積極的にMSEを取り入れて，学科再編が進められたことと対照的である．このことは日本では冶金学からMSEへのパラダイム転換が意識的に展開されなかったことと関連していると考えられる．

このような経緯があるものの，現在の材料系学科は生体材料，エコマテリアル，有機材料なども研究対象にするようになり，大きな広がりを持つようになっている．

3. 環境と材料の課題

現代文明は近代工業技術によって形成されてきた．科学技術の成果はおもに生活の物的充足や快適性の拡大に向けられ，地球環境負荷は増加の一途をたどった．いまや持続可能

* 名城大学教授；学長室(〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501)
Issues in Materials Education in 21st Century; Kotaro Kuroda (President office, Meijo University, Nagoya)
Keywords: *materials education, envinronmental issue, material circulation, general and liberals education, basic course in biology, quantum theory recruiting, gender equality*
2010年５月17日受理

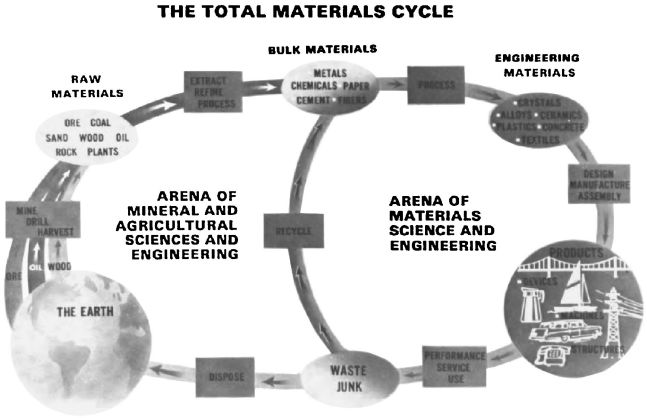

図１　材料の循環と材料科学工学の概念.

な社会の実現のために，科学技術の成果を優先的に地球環境負荷低減に向けることが求められている．持続可能な社会の実現には，材料ひいては製造物を生み出す物質循環を重視しなければならない．地球が安定に存在していることは物質循環が安定状態にあることである.

20世紀の材料研究は冶金学からMSEへの展開が図られ，構造，性質，性能，プロセシングを４大基本[3]として，それぞれの分野の専門家がそれぞれの領域を深く掘り下げそして拡張しながら発展してきた．1988年に堂山はこれらの基本にもうひとつ環境を加えることの重要性を述べている[4]．材料研究に環境を取り入れるとき，これまでのように専門家の分業で問題解決を図るのは難しい．環境の専門家とは何か，われわれは未だにその回答を持っていない.

全米科学アカデミーが1974年に出した報告書“Materials and Man's Needs”[5]の冒頭に掲げられている図はMSEの分野を定義するものとして，その後MSEの教科書にも使われてきた．それを**図１**に示す．バルク材料を加工し，デザイン・製造・組立を経て製品を造りあげ，消費し，廃棄し，一部はリサイクルすることがMSEの分野であると示されている．かつての採鉱冶金学では，環境は資源を採取するところとして認識され，材料と環境の結びつきは強かった．MSEでは，図１に示すように環境としての地球はMSE分野の外側に置かれ，材料そのものを対象としてきた．21世紀の材料研究そして教育では，材料そのものを対象とするだけではなく，材料が物質循環する場としての環境との関係を考慮していくことが求められる.

こうしたことを教育の中ではどのように実現していくのか．かつての採鉱冶金学のような各論の積み上げではすまないのははっきりしている．地球科学をベースにした物質循環についての物理学と化学の知識を学ばねばならないであろう．これは基礎科学教育に含まれると考えられる.

4.　基礎科学教育と教養教育の課題

(1)　基礎科学教育

前節で述べたように，MSEは材料の構造，性質，性能，プロセシングの４つの基本要素を研究対象とした科学技術の領域である．現在の材料分野は生体材料，エコマテリアル，有機材料なども研究対象にするようになり，大きな広がりを持つようになっており，この４つの要素とそれらの関連性を含めた全体として，材料を限定することなく教育することが学部レベルから必要になってきている.

MSEの創設に関わったFineが，カリキュラムに取り上げるべき基礎科学と実験方法を選択する基準は，この４つの基本要素によって与えられ，「固体物理学，熱力学，速度論，分子および結晶の構造，力学的性質などはすべての材料に共通するものとして教えるのが効率的である.」と指摘していることを小岩は紹介している[2].

1997年に日本に滞在したオックスフォード大学教授のSuttonは，材料学の学生に量子力学を教えることが必要であるかとの質問を受け，「なぜ金属と絶縁体は違った性質を持つのか，なぜガラスは透明なのか，・・（中略）・・・．これらは全て，材料の電子構造に根本的に起因する性質の例であり，それを理解するには量子力学を学ぶことが必要である.」と答え，さらに「ほとんどの材料科学の学生は量子力学を学ぶことに躊躇いを感じており，原因はある段階でどうしても必要になる数学にあると思う.」と述べている[6].

「マサチューセッツ工科大学では1993年から，工学部も含めて全学生が，生物学を１学期履修することになった.（中略）カリフォルニア工科大学が96年から始めた生物学イニシアチブ計画では，学生が１年目から２年目に生物学を１学期取る.」と1998年に報じられた[7]．Fineも「材料の生物学反応を制御することが可能になり，生物学的経路を活用して新しい材料を創造することができるようになった．そのような道筋を材料のカリキュラムに組み入れるには，基礎教育として分子生物学と生物化学を取り入れる必要がある.」と提案している[2].

これまでに大づかみでみてきたように，21世紀の材料教育には，地球科学や量子力学そして分子生物学や生物化学を取り入れていくことが求められていくであろう．こうした新たな教科を導入する際には，これまで必要と考えられていた教科の教育を大きく変更せざるを得なくなるであろう．これまで学部教育で行っていた個別の材料についての各論の多くは切り捨てざるを得なくなり，カリキュラムは基礎科学教育を重視したものに転換されることになろう．そのような材料の各論を学部あるいは大学院でどのように位置づけて，カリキュラムに組み入れるかは，それぞれの学科・専攻で特徴あるものとなっていかざるを得ないであろう.

(2)　教養教育

1999年に日本技術者教育認定機構（JABEE）が設立され，工学教育の各分野の認定を行ってきた．認定を始めて，10年になろうとしており，すでに350以上のプログラムが認定されている．材料およびその関連分野では2010年現在，12プログラムが認定されている[8]．材料分野の分野別基準は，先に述べたMSEの４つの基本要素である，構造，性質，性

能，プロセシングを学ぶことを定めていて，他の工学分野より大綱的な基準になっている．JABEEの材料分野の認定に当たっては，分野別基準の達成が問題になることはほとんどなく，むしろ「基準1学習・教育目標の設定と公開」(a)～(h)に取り上げられている，そのうち

(a) 地球的視点から多面的に物事を考える能力とその素養
(b) 技術が社会や自然に及ぼす影響や効果，および技術者が社会に対して負っている責任に関する理解(技術者倫理)
(e) 種々の科学，技術および情報を利用して社会の要求を解決するためのデザイン能力
(f) 日本語による論理的な記述力，口頭発表力，討議等のコミュニケーション能力および国際的に通用するコミュニケーション基礎能力

などの教育が問題になることが多い．このことは学部教育における専門教育とともに教養教育の実施状況が課題となることを示している．

この10年の間に，多くの高等教育機関で，工学倫理や技術者倫理の授業が行われるようになり，十指に余る教科書が出版されている．工学教育として，日本語教育を重視することも行われ，特色ある大学教育支援プログラムに岡山大学工学部の提案「日本語力の徹底訓練による発想型技術者育成」[9]が2004年度に採択されている．

1991年の大学教育の大綱化によって，ほとんどの大学で「教養部」が廃止され，新しい形式での教養教育が実施されるようになったが，様々な課題を抱えていて，教養教育は見直されようとしている．

現在のような高度技術社会に生きる人びとには，社会を構成する根源的要因のひとつとして，技術革新を如何に捉えるかという教養そのものが必要とされているのではないだろうか．20世紀の日本が行った「技術革新の経験」は，21世紀に日本が更なる技術開発・技術革新を行うための膨大な知識の宝庫である．このことは，工学の各分野に当てはまることであり，それぞれの工学分野での「技術革新の経験」を集積し，役立つ知識として知識の基盤を形成する必要がある．これにより，工学各分野の技術革新史を高等教育の中で教授できるようになり，21世紀における工学教育の基盤となるであろう[10]．

近年，全国の大学でかつての教養教育の再現ではない，新たな教養教育の模索が始まっている．大阪大学では，学部後期及び大学院における新たな教養教育の構築を目指し検討を始めている．「現代社会と科学技術」「技術リスクコミュニケーション」といった科目が全研究科の大学院生を対象に開講されている[11]．

これまで，工学各分野で教授されてきた「各論」それぞれは膨大な知識に膨れ上がり，その講義内容を再構築することが不可欠になっている．例えば，MSE分野では今でも鉄鋼は重要なテーマである．しかし，かつてのように製銑，製鋼，鉄鋼材料，加工などの各論を教授する時間的余裕はない．そこで鉄鋼技術の技術革新史を内容とする「鉄鋼技術」としてまとめあげることが必要ではないだろうか．その際には，技術革新を多角的・多面的に捉えることを行ない，技術が社会や文化と密接不可分な関係にあることも紹介すべきであろう．こうした教科にはこれまでの専門教育科目とはかなり違ったカリキュラム設計が求められる．こうした教科の教育は学部後期及び大学院における新たな教養教育として位置づけることも可能であろう．

5. 工学の魅力発信に関わる課題

少し前のことになるが，2006年の国立大学協会総会で，岐阜大学の黒木登志夫学長は，全国の国立大入試で，工学部系の志願者数が2002年度から06年度にかけて大幅に減少，志願倍率が2倍を切る大学が増えるなど深刻な「工学部離れ」が進んでいることを報告した．また，黒木は「社会が物作りの担い手を多くは必要としなくなってきたことや，中高生の理数離れなどが背景」と分析し，「初歩的な物理数学が分からない学生でも入学できるようになれば，授業レベルも低下する．2倍を切るような状況は危機的」と指摘している[12]．

一方，全大学進学志願者における工学部志願者の比率の推移から，濱中は「工学部離れ」が起きているとは言い切れないとの結論を提示している[13]．それとともに，ただ他方で今後「工学部離れ」が進行しないと断定することもできない．ここ数年の動向をみれば，男子で工学部志願者比率の低下が生じていたのは事実だったし，この変化が続く可能性もあるからだと述べている．そして，入りやすさと志願者比率との間には，タイムラグをおいた共変関係があることと，基本的に第二次産業が強い県ほど，工学系志向も高くなっていることを見出している．工学部の対応策として，「入りやすさや第二次産業のイメージぐらいで，これほどまでに変化するというのも驚きである．それだけ高校生たちが，工学系学部というもの，そして何よりもその領域を卒業した後のキャリアというものを分かっていないということなのかもしれない．だとすれば『安心して』工学系学部への進学を選ぶことができるような環境づくりと教育効果情報の発信．このことこそが，工学系学部に堅実な発展をもたらすのではないだろうか．」と提案している．とくに，材料は高校生が具体的イメージを持ちにくいという問題がある．教科書に材料に関する記述を増やしていく努力も必要である．

高校生に対しては，各大学は文科省事業「スーパーサイエンスハイスクール」に協力して，高校生を大学に迎えて，実験などを通して，理学や工学の魅力を伝えることが行われてきた．経産省の「早期工学人材育成事業」や「社会人講師活用型教育支援プロジェクト」では，企業の技術を使った理科実験プログラムを作成し，企業人が初等中等教育の現場で理科実験に協力している．また，この数年間は「女子中高生夏の学校」，「女子中高生のための関西科学塾」が男女共同参画学協会連絡会を中心に開催され，日本金属学会・日本鉄鋼協会合同男女共同参画委員会は，ポスター展示，材料の面白さを伝える実験などを行ってきた．

金属学会の男女共同参画委員会は2003年に設立され，上述のような啓発活動を積極的に進めるとともに，春秋の講演大会の際に託児室を設置したり，ランチョンセミナーを開催している．女性会員が5%に満たない現状の中で，一部の会員の献身的な努力で活動が続けられている．第三次科学技術基本計画では自然科学系の女性研究者採用比率25%という数値目標が掲げられ，それを支援する事業も進行中である．こうした状況の中で，材料分野の女性研究者をいかに増やしていくかは重要な課題である．そのためには，研究者の卵である女子学生をいかに確保するかを大学と学協会が協力して展開していかねばならない．これも21世紀の材料教育のひとつの重要なテーマであり，これがうまくいかなかったら，材料分野の魅力が低減していくことは間違いであろう．

6. おわりに

21世紀の材料教育が抱える課題について，私見を交えながら検討してきたが，筆者の力不足で雑駁なものになってしまった．とくに，材料教育そのものについては紙幅の関係でほとんど展開できなかった．今後の材料教育をはじめ工学教育は学部段階では細かい専門教育に深入りせず，基礎科学教育と教養教育を重視することが必要であり，必然的に専門性の高い教育は博士課程重視の大学院教育のなかで実施されていくことになろう．読者の皆さんのご批判，ご意見をお寄せいただければ幸いである．

文　献

（1）黒田光太郎：まてりあ，**37**(1998), 666–670.
（2）小岩昌宏：まてりあ，**48**(2009), 412–419.
（3）Materials Science and Engineering for the1990's: Maintaining Competitiveness in the Age of Materials (Washington, D.C.: National Academy Press, 1989), http://www.nap.edu/catalog/758.html
（4）堂山昌男：日本金属学会会報，**27**(1988), 4–7.
（5）Materials and Man's Needs: Materials Science and Engineering, Summary Report of the Committee on the Survey of Materials Science and Engineering (Washington, D.C.: National Academy of Sciences, 1974), http://www.nap.edu/catalog/10435.html
（6）A. P. Sutton：まてりあ，**39**(2000), 259–265.
（7）朝日新聞，1998年9月25日夕刊
（8）http://jabee.org/
（9）http://www.okayama-u.ac.jp/ip/pdf/GP.pdf
（10）科研費特定領域「日本の技術革新」総括班編：日本の技術革新大系，国立科学博物館，(2010)
（11）大阪大学コミュニケーションデザインセンター「授業科目一覧」：http://www.cscd.osaka-u.ac.jp/education/kamoku/index.htm
（12）西日本新聞：2006年6月24日夕刊
（13）濱中淳子：産学官連携ジャーナル，**5**(2009), No. 6, 67–69 & No. 7, 26–28. http://sangakukan.jp/journal/

黒田光太郎

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★
1972年九州大学工学部冶金学科卒業，1979年同大学院博士後期課程単位取得退学，工学博士，米国Case Western Reserve大学客員助教授．1983年名古屋大学助手，講師，助教授を経て1997年教授．2010年3月退職，名古屋大学名誉教授．4月より名城大学教授．
専門分野：材料物理学，電子顕微鏡学，科学・技術と社会
◎金属学会では第0分科会の設立時から分科会委員（幹事，副委員長，委員長）を務める．編著に『誇り高い技術者になろう–工学倫理ノススメ』（名古屋大学出版会，2004年），『日本の技術革新大系』（国立科学博物館，2010年）など．
★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★