地球的視点からの技術者教育の実践とその教育的効果

Practice of Educating Engineer from the Global Viewpoint and the Educational Result

吉 村 忠与志^{*1}

Tadayosi YOSHIMURA

Learning and education aims of the Fukui National College of Technology are “Ability rearing of the manufacturing, the environment coordinating and the system design with the engineer ethics of the global viewpoint”, and they practice educating engineer. What becomes the key subject are “Engineer ethics” and “Global environment”. We report the practiced content and the educational result in the inside which is of two subjects in charge. On using the self-made textbook, all students achieved the learning and educational goal aim A.

Keywords : Educating Engineer, Curriculum, Global Environment, Engineer Ethics, Textbook, Principle Component Analysis, Technical College, JABEE

キーワード：技術者教育，カリキュラム，地球環境，技術者倫理，教科書，主成分分析，工業高等専門学校，JABEE

1. はじめに

科学技術の発展によって人間社会に豊かさと快適さを与えた反面，その利用者の無知とずさんな運用によって地球環境を破壊・汚染してきた現状がある．あと50億年間は寿命のある地球に持続して人間が生存できるように，地球にやさしい科学技術の開発を目指す中で，地球環境の保全における技術者教育を施し，地球的視点から人類の幸福と福祉に貢献する多面的思考ができる技術者の育成が急務である¹⁾．

理工学系の高等教育機関では，日本技術者教育認定機構（JABEE）の定める技術者教育の基準に準拠し，学習・教育目標の設定と公開を行っている．福井高専では，JABEEにおける学習・教育目標の基準1の（1）の（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）の2つの項目が学習・教育目標の大項目Aに対応し，この大項目Aに9個の小項目（細目）を定めて技術者教育を実践している²⁾．

2. 地球的視点からの技術者教育

福井高専では，専攻科2年と本科4，5年の2年を合わせて4年間をセットにして複合融合を目指した教育プログラム「環境生産システム工学」（JABEE対応）を実施している．その学習・教育目標として，5つの大項目（学習・教育目標A～E）の下に35個の小項目

目で達成できることを定めている．そこで，本論文に関連する学習・教育目標の大項目Aを下記に示し，さらに，それに係る小項目9個を示す²⁾．

〔学習・教育目標の大項目A〕地球的視点の技術者倫理を意識した，ものづくり・環境づくり，システムデザイン能力の育成．

- （1）（持続可能な地球社会の構築）持続可能な地球社会を構築するという目的意識のもと，人間の活動や文明が地球環境に与える影響について理解できること
- （2）（異文化圏の価値観）異なる文化圏に属する人々がもつ歴史・伝統などの文化や，それらに根ざした価値観などを，認識・理解する意識を持てること
- （3）（自然との調和）それぞれの地域の特性に応じて自然環境と人間社会との調和を図る必要性を認識できること
- （4）（技術者倫理綱領）技術者が社会に対して負うべき責任を明確に自覚したうえで，工学に関する学術団体が規定している倫理綱領を理解し，説明できること
- （5）（循環型社会での技術者視点）省資源化・再利用およびリサイクルによって成り立つ循環型社会について技術者の視点から認識したうえで，設計・製造・計測・制御および情報処理など，知識と技術とが結びついた生産活動に参画する資質をそなえられること
- （6）（地球環境の保全）地球環境の保全を念頭に置いて，生産から消費・廃棄に至るプロセスを，ひと

平成17年1月7日受付

*1 福井工業高等専門学校物質工学科

つのシステムとして認識できること

- (7) (モノの企画) 構造物または製品をデザインする際に、誰のため、何のためにつくるのかを意識できること
- (8) (モノの基本設計) 構造物または製品をデザインする際に、機能性、安全性および経済性を考慮できること
- (9) (モノの付加価値設計) 構造物または製品をデザインする際に、環境負荷の低減や快適性などを考慮できること

これらは、地球的視点からの技術者教育の基本理念を規定したものである。

この学習・教育目標を達成するためにカリキュラムが構成されているが、筆者が担当する科目は「技術者倫理」と「地球環境」であり、本論文は「地球環境」の教育成果をもとに報告する。

3. 教科書「地球環境」の作成と活用

福井高専では、2001年度から「グリーン・ケミストリー」を開講し、環境化学の講義を始めた。日本化学会が「環境憲章'99」を定め、環境にやさしいものづくり「グリーンケミストリー」を推進したことをきっかけに本高専でもカリキュラム化したものである。そこで利用した教科書は、筆者らによる書き下しのもの「グリーン・ケミストリー」である。英語では、Green Chemistryであるが、日本語では、狭義で、「化学物質の製造におけるプロセス創製に関して地球生態系保全の調和をはかる化学」と定義されていた。この教科では、環境化学の広義として、「グリーン・ケミストリー」を定義し、地球環境の保全を全人類で取り組んでいくために環境汚染を引き起こした化学物質を再認識することに着眼して、地球環境と保全化学に重点を置いたものと定義し、講義した。教科書も同じ名称で、2001年4月に「ゼロ・エMISSIONの化学をめざして」という副題付きで三共出版より発行した³⁾。

そして、2003年度までこの教科書で環境化学を実践してきたが、2004年度からはより地球的視点からの環境科学を重視するために、「地球環境」と教科改訂を行い、2004年9月にサイエンスハウスから発行した⁴⁾。図1に教科書の表紙を示す。

この改訂における概要は、地球環境の保全教育を目的として想定する。環境汚染の現状、大気汚染、土壌汚染、水質汚濁、大量廃棄、環境ホルモン等を明確化して、地球に生きる技術者教育に環境倫理を教授し、地球環境に対する循環型社会への取り組みを教授する。地球的視点で科学技術を思考して、包括的な取り組みのできる技術者になるために、環境倫理的な思考ができ、地球環境を理解し、循環型社会への取り組みができることを達成目標とする。副題として、地球と

図1 教科書「地球環境」の表紙

人間との壁を破り、共に生きる道を探るものとした。持続可能な地球社会を構築するという目的意識のもと、人間の活動や文明が地球環境に与える影響について理解できるような内容を教科書（シラバス）の構成とした。

専攻科生に対しての「地球環境」の講義内容は、シラバスに従って、第1章では、科学技術がもたらした環境汚染を中心に、環境汚染と農薬（農薬の歴史、農薬汚染、豊かさの裏に環境汚染）、公害問題（産業が引き起こした公害、イタイイタイ病、水俣病、四日市喘息、カネミ油症、製紙ヘドロ公害）、化学物質の功罪（フロン、プラスチック、遺伝子組み換え作物、揮発性有機化合物）について講義した。第2章では、地球環境の科学を中心に、宇宙と地球のすがた（銀河系の中の太陽系、宇宙に生命体惑星は）、地球環境の創生（原始大気、酸素とオゾン層、地球のすがた、地球を守る微生物、化石燃料なるエネルギー資源）、文明と森林（生命体の進化、森林の伐採、森林は生態の泉、地球の限界、世界の穀物）について講義した。第3章では、環境汚染をもたらす化学現象を中心に、大気汚染（大気に拡がる化学物質、地球の温暖化、酸性雨、快適な環境の功罪）、土壌汚染（水の循環、地下水汚染）、水質汚濁（人工ダム、海洋汚染）について講義した。第4章では、文明社会がもたらす環境汚染を中心に、大量消費（消費型社会の功罪、消費型社会の負荷）、環境ホルモン（ダイオキシン類の危機、環境ホルモン、化学物質のリスク、化学物質過敏症）、生態系破壊（天然物と人工物、地球の自浄能力）、ごみ処理問題（文明社会のごみ、リサイクル、物質の回帰システム（LCA）、プラスチック製品の生涯、人間活動による急激な拡大）について講義した。第5章では、地球は誰のためのものかを命題に、循環型社会への取り組み（社会的資源の確保、新エネルギーの創生、光合成によるエネルギー獲得、化石燃料使用以前のバ

イオマス時代に学ぶ，オゾン層が支える人間社会），環境倫理（地球に適正な科学技術，環境倫理の枠組み，技術者としての環境倫理），人類の幸福と永住（科学技術の未来，世界の水，命の水を守る古代の知恵），地球環境は誰のものか（生物多様性，グランドワーク活動，環境マネジメントシステム，共生の中での繁栄）について講義した。

4. 学習・教育目標の大項目Aの達成度

本高専での「地球環境」教授の中で専攻科生に対して，2つの課題を課してその達成度を検討した．1つ目の課題は次のものである．

福井高専が目指す技術者教育における学習・教育

目標で，「地球的視点の技術者倫理を意識した，ものづくり・環境づくり，システムデザイン能力の育成」とあることについて，あなたが会得しようとしているものに関する事項を1000字程度で記述しなさい。

学生から提出されたレポートについて，先の9つの小項目で評価した．各小項目を意識した記述に対して，“明確な記述があった”に対し，5点，“本の表現であった”に対し，3点，“記述がなかった”に対し，1点という数値で評価した結果，表1のようなものとなった．このデータを基に主成分分析を行うので，評点は1点以上という数値による評価を行った．評価した対象学生数は36名である．

表1 9つの小項目に対するレポートの評価点一覧

列の見出しの括弧数字は小項目に対応し，行の見出し番号は学生である．

#	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	合 計
1	5	5	5	3	5	5	5	5	3	41
2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	45
3	5	3	3	5	5	5	5	3	3	37
4	5	3	3	5	5	5	5	5	3	39
5	5	3	3	5	5	5	5	5	3	39
6	5	3	5	5	5	3	5	5	3	39
7	5	3	5	5	5	5	5	5	5	43
8	3	1	1	1	3	3	5	5	3	25
9	5	5	5	5	5	5	5	5	3	43
10	3	3	3	3	5	5	5	5	3	35
11	1	3	1	1	3	3	5	5	3	25
12	5	3	5	5	5	5	5	5	3	41
13	5	5	5	5	5	5	5	5	5	45
14	5	3	3	5	5	3	5	5	3	37
15	5	5	5	5	3	3	3	3	3	35
16	5	3	5	5	5	5	5	5	3	41
17	5	5	5	5	5	5	5	5	3	43
18	5	5	5	5	5	5	5	5	5	45
19	5	3	5	5	5	5	5	5	5	43
20	5	3	5	5	5	5	5	5	5	43
21	5	5	5	5	5	5	5	5	3	43
22	5	3	5	5	5	5	5	5	5	43
23	3	1	1	5	5	5	3	3	3	29
24	5	5	5	3	5	5	3	5	5	41
25	5	5	5	5	5	5	5	5	3	43
26	5	3	5	5	5	5	5	5	3	41
27	1	1	1	3	5	3	5	5	5	29
28	5	3	5	5	5	5	5	5	5	43
29	1	1	1	1	3	1	5	5	3	21
30	3	5	5	5	5	3	3	3	3	35
31	5	5	3	5	5	5	5	5	3	41
32	5	3	5	5	5	5	5	3	3	39
33	3	1	3	1	1	3	5	5	3	25
34	5	5	5	5	5	5	3	5	3	41
35	5	5	5	5	5	5	5	5	3	43
36	5	5	5	5	5	5	5	5	3	43
達成度	0.878	0.711	0.811	0.867	0.933	0.889	0.944	0.944	0.711

図2 学習・教育目標の大項目Aに対する各小項目での達成度

横軸の見出し番号は学習・教育目標の大項目Aの小項目に対応している。

9つの小項目に対する達成度をプロットすると、図2のようになった。

(2)異文化圏の価値観と(9)モノの付加価値設計において0.711を示した他は、ほぼ高得点を挙げ、達成されていたことが分かる。上記の課題の内容から、異文化圏の価値観に関する設定が明確でなかったことがあり、さらに、環境問題では重要な「環境負荷の低減」における設計という観点での理解が全体としては低かったためと考えられる。環境負荷の提言問題は重要で

表2 主成分分析による各主成分に対する因子負荷量

因子負荷量	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
(1)	0.8911	0.0278	0.1970	0.0065	0.2623
(2)	0.7242	0.2014	0.2502	0.4480	-0.2654
(3)	0.8507	0.0503	0.0948	0.3453	0.2460
(4)	0.8560	0.2495	-0.0552	-0.2873	0.0940
(5)	0.7683	0.0035	-0.2083	-0.4004	-0.3714
(6)	0.8156	-0.0893	-0.0362	-0.2426	-0.0963
(7)	0.0311	-0.8142	0.3045	-0.3259	0.2267
(8)	0.0924	-0.8636	0.1561	0.2522	-0.2827
(9)	0.2778	-0.4080	-0.8180	0.2381	0.1335
合計	0.9883	-0.1401	0.0028	0.0485	0.0147

図3 第5主成分までの学習・教育目標大項目Aの小項目別の因子負荷量

あり、他の課題において対応している。

表1のデータを基に主成分分析を行ったところ、累積寄与率が90%以上となるには第5主成分までの累計が必要であった。各主成分の因子負荷量を表2に示す。因子負荷量とは、元の変数(因子)と各主成分間の相関係数であり、各成分がどのくらい負荷的に関与しているかの程度を示すものであり、1に近いほど相関性が高く、負の値は負の相関を表している。表2のデータをヒストグラムにしたのが図3である。

この図から、第1主成分は小項目(1)から(6)までと合計において大きく寄与している。第2主成分は小項目(7)と(8)において大きく負の相関を示している。第3主成分は小項目(9)において大きく負の相関を示している。

つぎに、主成分分析の結果を第1主成分(Z1)と第2主成分(Z2)間で散布図を作成すると図4のようになる。

第1主成分と第2主成分間では、大半の学生が原点を中心に散布されており、教科に対する達成度としてはほぼ満足の得られる成果となった。図4では、2箇所に分れたグループ(5人と3人のグループ)の存在が見受けられるが、彼らに関しては他の課題で「地球的視点からの技術者教育」の達成を確認することとした。

第2課題として、次の課題を課した。

文明がもたらしたごみ処理問題についてあなたの意見を記述した上で、講義で提案のあった「製品の回帰システム」について、あなたが行動しようとしていることに関する事項を2000字程度で記述しなさい。

この課題は、教科書「地球環境」の第4章のテーマで、循環型社会構築におけるリサイクル問題を取り上げたものであり、学習・教育目標の大項目Aの9つの小項目に対応することができ、前節のような観点からレポートを評価した。レポート提出した学生25名に対して評価した。表1の評価と異なり、どのレポートにおいても記述があり、評点で5と3のものとなった。

図4 表1のデータによる主成分分析の結果
横軸：第1主成分(Z1)，縦軸：第2主成分(Z2)

表3 第2課題の評価点一覧

#	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	合 計
1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	45
2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	45
3	5	3	3	5	3	5	5	5	5	39
4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	45
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	45
6	5	3	5	5	5	5	5	5	5	43
7	5	5	5	5	5	5	5	5	5	45
8	5	5	5	5	5	5	5	5	5	45
9	5	3	5	5	5	5	5	5	5	43
10	5	3	5	5	5	5	5	5	5	43
11	5	5	5	5	5	5	5	5	5	45
12	5	3	3	3	3	5	5	5	5	37
13	3	3	3	5	5	3	5	5	5	37
14	5	5	5	5	5	5	5	5	5	45
15	5	5	5	5	5	5	5	5	5	45
16	5	3	5	5	5	5	5	5	5	43
17	5	3	5	5	5	5	5	5	5	43
18	5	5	5	5	5	5	5	5	5	45
19	5	5	5	5	5	5	5	5	5	45
20	5	3	5	5	5	5	5	5	5	43
21	3	3	3	3	5	5	5	5	5	37
22	5	3	5	3	5	5	5	5	5	41
23	5	5	3	5	5	5	5	5	5	43
24	5	3	5	5	5	5	5	5	5	43
25	5	5	5	5	5	5	5	5	5	45
達成度	0.97	0.81	0.92	0.95	0.97	0.98	1.0	1.0	1.0	0.956

図5 第6主成分までの学習・教育目標大項目Aの小項目別の因子負荷量

表3のデータを基に主成分分析を行ったところ、累積寄与率が90%以上となるには第6主成分までの累計が必要であった。各主成分における各学習・教育目標での因子負荷量を図5に示す。この分析結果からも学習・教育目標の小項目(7)～(9)については各主成分に対する寄与が異なっていた。表3の評価点データは高得点で同じ評価が多く、主成分分析では解析しにくいものであったが、第1と第2主成分の特性値をプロットすると、図6のようになった。図6のプロット点の大きさは同じものが集中していることを示す。これによると、この分析結果でも原点周りに集中しており、

図6 表3のデータによる主成分分析の結果

横軸：第1主成分 (Z1)，縦軸：第2主成分 (Z2)。
プロット点の大きさはプロット数に比例している。

ほぼ満足な教育成果が認められる。図6で囲みから外れた4名についても表3に戻ると、No.3, 12, 13, 21であり、十分な理解度が確認できる。

図4と図6でアウト라이어となった者については重複しておらず、教育的には特別に指導の問題もなく、受講生全員が単位を取得した。本論文では特に、2つの課題について評価を検討したが、受講生の単位取得に対しては、他に2つの課題と期末試験でも評価した。

5. 課題における学生の意見と考察

2つの課題で学生が記述した文書のうち、学生の将来像についての記述の一部を下記に示す。この文面から、地球的視点からの技術者像を十分に理解し、自分の将来に重ねることができており、学習・教育目標の大項目Aを受講学生は十分に達成できたと判定できる。

- (1) 意識から行動に移せるような技術者になりたい。
- (2) 私自身にとっての地球的技術者倫理に貢献できる技術者になることである。
- (3) 考えるという能力、いろんな視点から物事を捉えるという能力を手に入れたい。
- (4) 機能性や安全性、環境負荷の低減や快適性などを考慮に入れたデザインとはどういうものなのかを理解していきたい。
- (5) よい地球的視点の技術者を目指し日々万進していくかぎりである。
- (6) どうしたらよりよいものづくりができるかということを会得したい。
- (7) 会社の利潤のために…(中略)…この体制が崩れない限り地球に未来はない、ということを技術者の卵である我々が認識しなければならない。
- (8) それだけを見るのではなく、一歩ひいて周りとの兼ね合いを大事にしていくことが重要だろう。
- (9) 私たちが将来生産者の立場になった時、やはり一番に考えなければならないことはモノの最後である。
- (10) 自分が将来土木技術者となった時も、この意識を常に持ち続けてものづくりをしたい。
- (11) 将来的にどのような影響があるのかをしっかりと考えられるエンジニアを目指していきたい。

いずれの文面からも、地球的視点から多面的に物事を考える能力とその素養、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)における達成が確認できる。福井高専の学習・教育目標の大項目Aに充ててみると、上記の課題評価のデータ解析結果から、9つの小項目に関し、ほぼ達成が確認できるが、「地球的視点の技術者倫理を意識した、ものづくり・環境づくり、システムデザイン能力の育成」を細分化し過ぎ

たようであり、今後は各項目の統合化が必要である。細かく定義すればするほど、それぞれのエビデンスが必要になり、すべての項目を満足するようなことは難しくなることを経験した。

本論文では、地球的視点からの技術者教育について論じたが、日本の技術者教育において技術の地産地消的な運用が必要となっている。月尾嘉男は日本が直面している大きな課題として、日本産業を生産から生活への転換や、開発主義から回復主義への転換に、優先度をシフトすべきである⁵⁾と提案している。教育現場を携わる我々は、地球的視点といえども地域を原点としたものづくり教育を課題とすることが重要である。地域を原点とすることは、顔の見える科学技術の運用を意味するものであり、その運用に地球的責任を持つことである。

参 考 文 献

- 1) 武田邦彦, 横木正信, 土屋敏明: 技術者倫理教育と工学教育の整合性, 工学教育, 50-1(2002), 28-33
- 2) 福井高専ホームページ
<http://www.fukui-nct.ac.jp/jabee/>
- 3) 吉村忠与志, 西宮辰明, 本間善夫, 村林眞行: グリーン・ケミストリー-ゼロ・エミッションの化学をめざして-, 三共出版(2001)
- 4) 吉村忠与志: 地球環境-地球と人間の壁を破る-, サイエンスハウス(2004)
- 5) 月尾嘉男: 地域が再生する日本, 北陸の視座, 14(2004), 1-13

.....

著 者 紹 介

吉村忠与志

1973年 福井大学大学院工学研究科修士課程修了

1982年 京都大学理学博士

現 在 福井工業高等専門学校物質工学科教授

日本工学教育協会・日本化学会・電気学会・電気化学会・日本科学教育学会・日本コンピュータ化学会・日本分析化学会会員