

卒業研修におけるエンジニアリングデザイン教育

Engineering Design Education through “Introductory Coursework to Research Project”

山 際 和 明^{*1}
Kazuaki YAMAGIWA

鳴 海 敬 倫^{*1}
Takatsune NARUMI

原 田 修 治^{*1}
Shuji HARADA

田 邊 裕 治^{*1}
Yuji TANABE

清 水 忠 明^{*1}
Tadaaki SHIMIZU

坪 川 紀 夫^{*1}
Norio TSUBOKAWA

Compulsory subject “introductory coursework to research project” makes 4th-year students to discuss the research targets and their approaches regarding on his or her own research project, and to participate in 1st-year students’ project as advisors and/or facilitators. Their ability of engineering design can be brought up through setting research targets and selecting the approaches taking real conditions and constraints into consideration. Experiences as an advisor and/or a facilitator in the 1st-year students’ project are quite effective not only to develop his or her teamwork skills and leadership but to check his or her own learning habit. In the present article we will present the outline and outcomes of the subject and discuss how to develop engineering design ability more effectively through it.

Keywords : Engineering Education, Research Project, Engineering Design

キーワード : 工学教育, 卒業研究, エンジニアリングデザイン

1. はじめに

新潟大学では、大学入学前から染み付いている「知識の暗記だけで使えるつもりになっている」という「つもり学習」の習慣を初年次教育の段階で早期に気づかせ、「つもり学習」の悪癖を直しながら、それによって「知識の応用力（工学的リテラシー）」を効果的に身に付けさせることを目的として、1年生から4年生まで継続した工学教育を実施している^{1), 2)}。1年生には、失敗しつつもそれを強い意欲で乗り越えて成功する体験が意図的に組み込まれた科目「工学リテラシー入門」を実施している。これにより、学生に「つもり学習」に早期に気づかせ、解を創造し改善してゆくステップを経験させて工学に対する学習意欲を高める。2, 3年次では、従来の実験・演習科目で知識を応用する仕方を確認しながら、デザイン科目で解のない工学的問題に対する取り組み方を身に付かせる³⁾。4年生では「卒業研修」と「卒業研究」をCapstone projectとして実施する。卒業研修では、1年生が取り組む「工学リテラシー入門」に指導的立場で参加し、プロジェクトマネジメント体験を通して「つもり学習」から脱却させる。

本稿では、工学部で実施している卒業研修の特徴、

成果を紹介し、今後の課題について考察する。

2. 卒業研修の位置づけ

卒業研修は工学部各学科に共通の必修科目である（建設学科建築学コースでは卒業基礎設計を履修する場合もあるが、本稿ではこれを含めて卒業研修と称する）。卒業研修（2単位）は4年生第1学期（前期）に開講され、第2学期（後期）に開講される卒業研究（6単位）に取り組むための準備を行う科目である。卒業研修に充てられる時間数は学科によって異なるが1週間に12～36時間、卒業研究は20～39時間である。卒業研修で1週間に1コマ90分が「工学リテラシー入門」へのアドバイザー参加に充てられる。

卒業研修の学習目的は、「社会や産業界・工学分野などで解決あるいは改善すべき課題について理解し、設定された研究課題の背景や目的、その研究の意義を理解するとともに、卒業研究を行うための基礎知識習得を行うこと（電気電子工学科シラバスより抜粋）」である。また、1年次開講科目「工学リテラシー入門」にアドバイザーとして参加する事により自己の勉学姿勢が「つもり学習」から脱却できているかどうかを確認し、卒業研究に対する取り組み姿勢に反映させることも意図している。

2.1 「工学リテラシー入門」への参加

卒業研修では4年生が1年生にアドバイザー、ファ

2012年5月14日受付

*1 新潟大学工学部

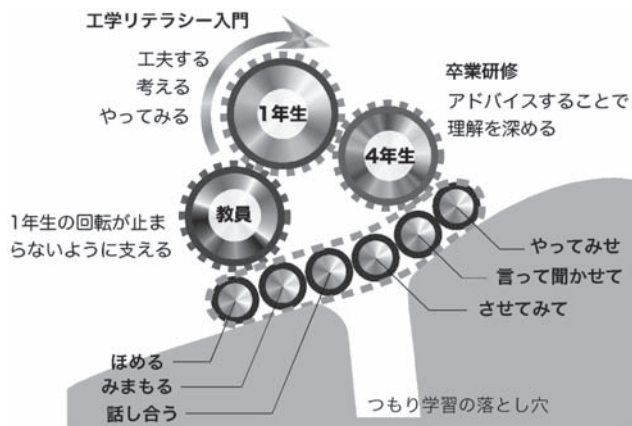


図1 工学初動教育の概念図

シリテーターとして参加する。まず、工学リテラシー入門の概要について説明し、4年生の感想に基づいてアドバイザー参加の成果を考察したい。

図1に「工学リテラシー入門」の意図を概念的に示す。1年生が行う課題は、たとえば、摩擦熱を利用して湯を沸かす（機械システム工学科）、回路テスターの製作（電気電子工学科）、浸透圧の測定（化学システム工学科）など高校卒業時の知識で対応できるものである。1年生は数名のチームを組んで課題に取り組むが、実験装置を製作する際の誤差や測定誤差、回路の内部抵抗などの現実の制約条件があるために教科書通りの結果はほとんど得られない。結果が予想通りにならない原因の解明、改善策の提案、再実験、改善策の検証というPDCAサイクルを学生が1周期以上自ら体験をすることで、知識を使うことを学ぶ。この際に、4年生はアドバイザー、チームディスカッションのファシリテーターとして参加する。具体的な役割は、1年生の質問に対して答えを教えるのではなく、どのように考えるのかのヒントを与えたり、図書検索をするためにはどのようなキーワードを用いればよいかをアドバイスすること、および、1年生がチームディスカッションをする際に意見を出しやすくすることである。

まず、アドバイザーとしての役割であるが、教える側に立つことで学生に自分自身の理解度を確認させ、理解するとはどのようなことかを認識させることを意図している。平成23年度の4年生の感想で代表的なものを以下に示す。

- 答えを教えずヒントを与えることが難しかった。
- 教えるためにはしっかり理解していないといけなかったので、教える難しさが分かった。
- いかに分かりやすく説明することができるか、どうしたら良い結果を出せるのかなど4年生の準備も求められた。準備をする中で、説明力や工夫する力がついた。
- 実験や教えることの流れをあらかじめ決めて順序立ててゆくことの重要性を学ぶことができた。また、実験の前に見通しをあらかじめ立ててあらゆる事を

想定して対処できるようにすることがとても重要であることが分かった。

- 相手が自分の話を理解しているかどうか確認しながら教えることの難しさを実際に肌で感じる事ができた。
- また、ファシリテーターとしての感想を以下に示す。
- どのタイミングでアドバイスをするのが1年生のためになるか考えた。
- 当初1年生が受動的な態度であったので、どうアプローチして良いのか戸惑った。
- 質問ばく話を投げかけることでコミュニケーションを活発にできた。
- 大学のことも工学のことも何も分からなかった自分を1年生に重ねながら、あの頃は何が知りたかったのか、どうすれば良かったのか、ということ的自然と考えて1年生に伝えていた。

アドバイザーとしての役割を果たすことにより、ほとんどの学生が教えることの難しさを体験し、理解することがどのような状態を指すのかを体得したようである。また、4年生の感想から、「つもり学習」からほぼ脱却していることが伺えた。一方、ファシリテーターとしての役割も十分に果たしていることが分かった。2年生や3年生における実験、演習などをチームワークで行う場合、同学年の学生でチームを構成する場合は圧倒的に多い。同じ立場の学生同士でチームワークを行う場合には、リーダーや記録係などの役割分担はあるものの基本的にはチームメンバーは同等であり、知識や経験の共有と合意形成がチームワークの目的となる。また、卒業研究では教員とディスカッションをすることになるが、これは企業内では上司とのコミュニケーションに相当する。これに対して、卒業研修では1年生のチームにリーダーの立場からチームワークに参加する。リーダーの立場からチームワークを経験することで、リーダーシップ能力を効果的に養成できると期待している。なお、4年生からは、「課題に取り組む1年生を見ることで大学での自分の成長を感じ、今後の大学院での生活に向けて自信を得ることもできた」とのコメントもあった。このように、学生が自身の学習成果を評価し、達成感を得て、将来の学習に対する積極的な姿勢に結びついていることが分かった。4年生にアドバイザーやファシリテーターとして1年生のチームワークに参加させることは、チームワーク力だけでなく工学力を養成する上で効果的であることが分かった。

2.2 卒業研修における予備調査

一般的には、卒業研修の目的は前述したように、卒業研究を行うための予備学習や予備調査である。予備調査では、例えば、研究テーマに関して次の事項を学生に調査させ、まとめさせることが多い。

1) 研究の背景

- 2) 国内外の既往の研究
- 3) 指導教員の研究室における研究成果
- 4) 研究の目的
- 5) 研究を遂行するために必要な知識や理論

卒業研修でとりあげるエンジニアリングデザインの主な目的は、①どのような社会の要求を解決しようとしているのかを明確にし、②要求を解決するためにはどのような方策があるのかを探索し、③その解決方策の長所短所を評価し、④解決方法を順位付けして、最も効果的な解決方法を同定するプロセスを合理的に説明する能力を養成することである。

しかし、卒業研究論文の体裁が学術論文の体裁に従うことが多いためであろうが、エンジニアリングデザインの面から見ると、学術論文の緒言では卒業研究の予備調査においてデザインの内容が十分に明確になっているとは言い難い。例えば、目的を達成させるために複数のアイデアを提案し、現実の制約条件を配慮してそのアイデアの優劣を順位づけるような記述は、卒業論文の緒言に書かれる「既往の研究」に対応する。しかし、「既往の研究」では他の研究例が紹介されるだけで、既往の研究を課題解決の選択肢ととらえて、その実効可能性や効果を評価する意識は不足している。

現実の制約条件を配慮して工学的に最適な解を求める手順として、技術アセスメント⁴⁾の実行手順が参考となる。その手順の概略は次のようになる。

- 1) ゴールを設定する。
- 2) 具体的な達成目標を設定する。
- 3) 目標を達成するための方法（選択肢）を複数生成する。
- 4) 選択肢それぞれの長所や短所を明らかにする。
- 5) 選択肢を評価する項目とその優先順位を決める。
- 6) 選択肢の順位をつける。
- 7) フィジビリティ調査をするための選択肢を選択する。
- 8) フィジビリティ調査を行い、実行する選択肢を決める。

これらの手順で、選択肢の評価と順位付けではその理由を文書で論理的に記述する必要がある。エンジニアリングデザインの面から見ると、卒業研究の予備調査では研究対象となる課題を満たすための選択肢の生成と評価に重点を置き、その過程をレポートに記載する必要がある。

3. 化学システム工学科での事例

卒業研修レポートでは、自分の研究テーマに関して合成しようとする化学物質、合成経路、解析方法、プロセスなどについて選択肢を生成し、その評価を行うように学生に指導している。その手順を下に示す。

- 1) 目的を達成するための選択肢を複数あげる。

- 2) 選択肢の特徴をあらわす評価項目を複数あげる。
- 3) それぞれの選択肢について、評価項目を評価する。
- 4) 評価項目の重要度を定める。また、その理由を説明する。
- 5) 評価項目の重要度を考慮して、最適な選択肢を決める。また、その理由を説明する。

選択肢を考える対象は学生に選ばせている。また、4年生第1学期の段階で選択肢の評価を定量的に行うことは実質的に不可能であるので、○△×のような記号を用いた定性的な評価を表の形で表すこととした。

学生が行った評価例を表1、2に示す。

電子ペーパーに代表される表示ディスプレイ用の単分散粒子には、大きさが均一で圧縮に対する回復性が高いことが要求される。このための粒子を合成する方法（選択肢）として、学生は、分散重合（溶液の状態では重合を開始し、生成した粒子は溶液中に懸濁分散する）、沈殿重合（溶液の状態では重合を開始し、生成した粒子は沈殿する）、シード重合（粒子の核となる種を溶液に加えて粒子を重合する）を取り上げた。評価項目は、粒径を制御できる範囲（制御性）、粒径の均一性（単分散性）、圧縮回復性（重合に使用できる架橋剤量の範囲）である。これらの重合法では粒径制御性、単分散性に大きな差はない。しかし、シード重合では架橋剤量を自由に調整できることから、生成する粒子の耐圧縮性も広く調節できる。その結果この学生は、目的とする表示ディスプレイ用単分散粒子を合成するための方法としてシード重合を選択した。

フェノール処理方法では、対象となる廃水に含まれるフェノール濃度や共存物質の種類によって適切な処理方法（選択肢）が異なる。表2の例では、学生は選択肢として、感温性ゲルによる吸着、オゾン酸化処理、活性汚泥処理を取り上げた。これらの選択肢の評

表1 表示ディスプレイ用単分散粒子の合成方法

| | 粒径の制御性 | 単分散性 | 圧縮回復性 | 総合評価 |
|-------|--------|------|-------|------|
| 分散重合 | ○ | ○ | × | △ |
| 沈殿重合 | ○ | ○ | △ | ○ |
| シード重合 | ○ | ○ | ◎ | ◎ |

表2 フェノール処理方法の評価

| 処理方法 | 除去率 | コスト | 濃縮回収 | 副生成物 | 操作性 | 総合評価 |
|------------|-----|-----|------|------|-----|------|
| 感温性ゲルによる吸着 | △ | ○ | ○ | ◎ | ○ | ◎ |
| オゾン酸化処理 | ◎ | △ | × | △ | △ | △ |
| 活性汚泥処理 | ○ | △ | × | ○ | △ | △ |

価項目は、フェノールの除去率、処理コスト、フェノールの濃縮回収、処理に伴う副生成物の有無とその処理、操作性である。この学生はフェノールの分解除去ではなく濃縮回収できる処理方法の開発を目的としている。そのため、評価項目の中では濃縮回収性が第一であり、処理に伴って副生成物が派生しないことが望ましい。その結果この学生は感温性ゲルによる吸着処理を選択した。

このように、特定の条件、用途、目的に対して、解決策（選択肢）が持つべき特性を明らかにして、選択肢の順位付けをして最も効果的な選択肢を同定する過程がエンジニアリングデザインであると我々は考えている。また、この過程で特定の条件や用途、目的が現実の制約条件に相当する。上記の例は、選択肢とその評価項目を生成し、評価項目の重みを考慮して最適と思われる選択肢を選択しているの、エンジニアリングデザインの意図を比較的反映している例である。しかしながら、このような試みを数年前から行っているがエンジニアリングデザインの目的が十分に定着しているとは言い難い。その理由として、前述したように、卒業論文の体裁が学術論文の体裁に従っていることが考えられる。つまり、教員が慣れ親しんでいる学術論文の体裁で学生を指導している可能性がある。卒業研修でエンジニアリングデザインの意図をより鮮明にするためには、学術論文の緒言とは異なるフォーマットを提示する必要があるだろう。

4. プロジェクト企画書としての卒業研修レポート

卒業研修レポートは研究の背景・意義や目的、波及効果ならびに研究計画・研究方法をまとめたもので、見方を変えれば、予算関係は含まないが第二学期で行う卒業研究の企画提案書であると解釈することができる。例えば、科学研究費助成事業の申請書には下記の記載事項がある。

【研究の目的】

- (1) 研究の学術的背景（本研究に関係する国内外の研究動向及び位置づけ。応募者のこれまでの研究成果を踏まえ着想に至った経緯、これまでの研究成果を発展させる場合にはその内容等）
- (2) 研究期間内に何をどこまで明らかにしようとするのか
- (3) 当該研究分野における本研究の学術的な特色、独創的な点及び予想される結果と意義

【研究計画・方法】

（研究目的を達成するための具体的な研究計画・方法）

【今回の研究計画を実施するにあたっての準備状況等】

- (1) 本研究で実施するために使用する研究施設、設備、研究環境の状況
研究プロジェクトの企画提案書は各種助成金の申請

書と同じであり、教員にとってもなじみが深く、学生の指導もしやすいと思われる。卒業研修で行う卒業研究の予備調査をプロジェクト企画書として書かせることにより、学生にエンジニアリングデザインの意図をより明確に持たせることができると期待される。卒業研修レポートをプロジェクト企画書として作成すると、例えば、次の項目が必要となる。

【研究の背景と意義】

- (1) 課題の同定（社会のどのような要求を解決しようとしているのか。）
- (2) 解決方法の調査と評価（課題を解決するための複数の選択肢について効果や特色を調べる。評価項目と重みを決定して選択肢の順位付けをする。ここでは主に学生が所属する研究グループ以外の研究グループが採用している解決方法を調査し、特徴を評価する。学術論文では「既往の研究」に相当するが、単なる研究紹介ではなく目的の解決方法の順位付けを目的とする。科研費申請では、国内外での研究動向に対応するが、上述したように、解決方法の順位付けを行う。）
- (3) 選択した解決方法の特徴とこれまでの研究経緯（学生が所属する研究グループで、課題となる目的を達成するために、どのような研究が行われてきたのかを調査し、自分の研究課題がどのような位置づけにあるかを明らかにする。）
- (4) 予想される結果と波及効果

【研究目的】

- (1) 達成目標の設定（卒業までにどのような点を明らかにしようとしているのか。）
- (2) 目標を達成するために必要な知識と準備状況

【研究計画と方法】

- (1) それぞれの目標を達成するための具体的な計画（方法や実験条件）
- (2) 10～2月の研究計画
（第1学期で行った予備実験より、大まかにいつまでにどのような予定で実験を行うかを指導教員と討論して研究計画を立てる。）

研究の予備調査をプロジェクト企画提案の形で考えることにより、エンジニアリングデザインの意図をより明確にでき、教員にとっても指導、評価しやすくなると期待される。

5. おわりに

新潟大学工学部では卒業研修で1年生プロジェクトへの参加と研究予備調査を行う。1年生プロジェクトに参加することにより、4年生はチームリーダーとしての経験を積みチームワーク能力が高まる。卒業研修における卒業研究の予備調査では、社会の要求を解決するためのデザイン能力が養成される。エンジニアリングデザインの意識をより一層明確にさせるためには

予備調査をプロジェクト企画提案の形でまとめることが効果的であると思われる。

参 考 文 献

- 1) 新潟大学工学部：使えない「つもり学習」からの脱却～「やってみせ，させてみせ…」初動からの工学教育プログラム～最終成果報告書，2011
- 2) 清水忠明，兒玉竜也，木村勇雄，吉田雅典，金子隆司，寺口昌宏：教育GP「使えない『つもり学習』からの脱却」における化学系のデザイン科目実施事例，工学教育，59(2)，74-78，2011
- 3) 山際和明，田邊裕治，原田修治，清水忠明，岡 徹雄：新潟大学工学部教育GP「つもり学習からの脱却」の取り組み－第2報 デザイン科目の改善－，平成22年度工学・工業教育研究講演会講演論文集，

538-539, 2010

- 4) M. Drabkin: Hazardous waste minimization: Part X. The waste minimization assessment: a useful tool for the reduction of industrial hazardous wastes, JAPCA, 38(12), 1530-1541, 1988

.....

著 者 紹 介

山際 和明

新潟大学工学部化学工学科卒業，東京工業大学大学院総合理工学研究科化学環境工学専攻博士後期課程修了。

東京工業大学大学院総合理工学研究科助手を経て，現在，新潟大学工学部化学システム工学科教授。

所属学会：化学工学会，日本工学教育協会，日本水環境学会，IWA など

