CDIO アプローチを活用した工学設計教育

Engineering Design Education through the CDIO Approach

竹 俣 一 也^{※1}

Kazuya TAKEMATA

南 出 章 幸^{※2}

Akiyuki MINAMIDE

松 石 正 克^{※1}

Masakatsu MATSUIISHI

CDIO is a framework for the engineering education curriculum. It is based on learning the design process through actual system and product development. Students learn to “Conceive-Design-Implement-Operate” within this framework. The CDIO standard needs not to be satisfied by every related subject independently. What is required is just satisfied as a whole. At Kanazawa Institute of Technology (KIT), we have two introductory engineering design courses: Design Project 1 (PD1) and Design Project 2 (PD2). PD1 is given in the first semester of the freshman year and PD2 in the second semester of the sophomore year. Standard PD1 and PD2 courses satisfy the “Conceive-Design” processes of the CDIO approach. The authors succeeded in expanding the processes of CDIO in PD2 course. This paper describes the details of engineering design education based upon the CDIO framework.

Keywords : Engineering Design Education, CDIO, Design Thinking

キーワード : 工学設計教育, CDIO, デザイン思考

1. はじめに

CDIOは次世代のエンジニアを育成するための工学教育カリキュラムの枠組みであり、現実のシステムや製品開発における設計過程を背景にした教育プログラムのガイドラインである^{1), 2)}。学生はこの枠組みで学習することでCDIOが定義する“考え出す力 (Conceive)”, “設計する力 (Design)”, “実行する力 (Implement)”, “運営する力 (Operation)”を身に付けることができる。このCDIOのガイドラインは2000年にCDIO Initiativeと呼ばれる工学教育改革を目的とする国際プロジェクトによって作成され、2004年にその枠組みを完成させている。現在、30か国以上から約80の高等教育機関が加盟し、工学教育の世界標準になりつつある。我が国では金沢工業高等専門学校が2010年12月にCDIO加盟校になったのが最初である。金沢工業大学（以下、本学）は2011年6月に加盟している。

本学の工学設計教育カリキュラムの基幹科目としてプロジェクトデザインⅠ、プロジェクトデザインⅡ、プロジェクトデザインⅢがある。本学は2学期制であり、プロジェクトデザインⅠは学部1年次前学期に、プロジェクトデザインⅡは2年次後学期に、そしてプロジェクトデザインⅢ（卒業研究に相当）は4年次に履修する。学年に応じてこれらの基幹科目に関連する

科目があり、全体としてCDIOの枠組みを満足するカリキュラムとして成り立っている。

本学が工学設計教育を導入したのは1996年からで問題発見、課題探求型教育による能力の総合化を目的としている^{3), 4)}。当時、科目名は工学設計Ⅰ、工学設計Ⅱ、工学設計Ⅲであった。2008年、工学系3学部から「バイオ・化学部」を加えた4学部体制になったのを機会に工学設計という名称をプロジェクトデザインに変更している。筆者はプロジェクトデザインⅠおよびプロジェクトデザインⅡの専任教員として、これまで教材開発および教育実践を担当してきた。両科目では学生が学期中にチームを組んでプロジェクト活動を推進し、問題発見・解決型の学習を行う。このような形式の学習がPBL (Project-Based Learning) である⁵⁾。学生のプロジェクトは、実社会における身近な問題を対象に、現在持っている知識に加えさらに必要な情報を集め、チーム活動を通してその問題の解決策を提示する⁶⁾⁻¹²⁾。両科目を履修する学生数は各々約1,600名、学期中に推進されるプロジェクトは各々約300件に及び、他校に例を見ない。

本論文では、CDIOコンセプトに基づく工学設計過程という視点から本学のプロジェクトデザインⅠおよびプロジェクトデザインⅡで実施されている学生のプロジェクト活動について述べる。本学の学生はプロジェクトデザインⅠおよびプロジェクトデザインⅡの履修を終えた段階で、CDIOで身に付けるべき力として示されている“考え出す力-設計する力（以下、CDと

2011年7月15日受付

※1 金沢工業大学基礎教育部

※2 金沢工業高等専門学校電気電子工学科

する)”の部分までを満足している¹³⁾。ここではそれを“Ⅰ：実行する力”，さらに“Ⅱ：運営する力”の部分まで発展させるための教育実践について検討する。

2. 工学設計過程とCDIOとの関係

図1は本学の工学設計過程とCDIOとの関係を示したものである。横欄が本学の工学設計過程，縦欄がCDIOの定義している学習者が身に付けるべき能力である。

図1の横欄に示されている工学設計過程について述べる。プロジェクトデザインⅠおよびプロジェクトデザインⅡは1クラス40名前後で構成される。5名から7名で1チームを作る。学生チームはプロジェクトの活動として次の5つのステージに取り組む。本学ではこの5つのステージを工学設計過程と定義している。

- ①問題の発見ステージ：プロジェクト活動として値する問題を見出す。
- ②問題の明確化ステージ：ニーズ調査などを通してその問題の本質を見極め，その問題に関わる人(ユーザー)のニーズを明らかにする。
- ③アイデアの創出ステージ：ブレインストーミングなどの発想法を使って多くのアイデアを提示していく。
- ④アイデアの評価・選定ステージ：実現の可能性を検討するための評価基準を設け，メンバー内の合意形成に基づき最も実現性の高いアイデアを解決策として選定する。
- ⑤アイデアの具体化ステージ：解決策の実現可能性を検討し(アイデアをより具体的なものにし)，その結果をポスター発表および報告書として提示する。

プロジェクトデザインⅠのプロジェクトでは①から③の，プロジェクトデザインⅡのプロジェクトでは③から⑤のステージを中心に活動する。プロジェクトデザインⅡではプロジェクトデザインⅠの報告書から興味深いプロジェクトを選択し，それを引き継ぐ形式を取っている。そのため，プロジェクトで取り組むステージの一部分が重複している。プロジェクトデザイン

Ⅱの最初の活動は，プロジェクトデザインⅠの成果の見直しである。ただし，一部のチームはプロジェクトデザインⅡにおいて新規の課題(例えば，自治体(石川県野々市市)から提示された課題)に取り組み，ステージ2から開始する場合もある。本学の1学期は16週である。プロジェクトデザインⅠおよびプロジェクトデザインⅡはそれぞれ2単位，1週あたり45分2コマで，プロジェクトの実施期間は15週である。16週目を自己点検週として授業アンケートなどを実施している。

3. CDIOの“CD”から“CDI”・“CDIO”への発展

CDIOの視点から本学のプロジェクトデザインⅠおよびプロジェクトデザインⅡにおける工学設計過程を見ると「C：考え出す力」が工学設計過程における問題の発見ステージおよび問題の明確化ステージに該当する。「D：設計する力」が工学設計過程におけるアイデアの創出ステージ，アイデアの評価・選定ステージ，アイデアの具体化ステージに該当する。CDIOの“Ⅰ”や“O”の部分まで発展させる場合，プロジェクト活動の中で“もの(製品やシステム)”を作り上げ，それを運用しなければならない。“もの”とは，解決策の程度が完成形に近い「もの，こと」であり，それが実利用に耐えうるのであればよい。そのためにはアイデアの具体化ステージにおけるプロトタイプづくりを充実させることが必要である。ここでのプロトタイプとは問題点を洗い出すために試作した「もの，こと」だけでなく，それを利用することでユーザーの生活がどのように変化するかを示した書類等も含むものとする。

図2にコップの設計を例に，筆者のこれまでの経験からプロジェクトデザインⅡの学生が取り組むことが可能なプロトタイプの表現方法の一部を示す。図中の表現は我々が授業において学生に推奨しているコミュニケーション・ドローイングの手法によるものである¹⁴⁾。試作したコップ(a)の使用感を調べる(b)，そのコップを利用することでユーザーの生活がどのように変化するかを検討する(c)，それを使っている人の様子をビデオ撮りして使用状況を検討する(d)，飲み物を入れたコップの表面温度などの物理量を計測し，改善に役立てる(e)，得られたデータを統合して解決策をポスターで紹介する(f)，などである。プロトタイプづくりは手を使ったアイデア発想法と捉えることができる。作ったものを人に見せるというよりも，作るその過程でアイデアをより具体的なものにしていくところに意義がある¹⁵⁾。

図3は工学設計過程における学生のプロジェクト活動の流れを示したもので，常にフィードバックを伴う設計活動が要求される。ユーザーのニーズを満足していないと思われるならば再度ユーザーの特性を洞察し

図1 金沢工業大学・工学設計過程とCDIOの関係

図2 多様なプロトタイプの表現 (コップを例にした場合)

図3 プロジェクト活動の流れ

たり、ニーズを満足していても解決策に改善の余地があるならばアイデアを練り直せばよい。このフィードバックが学生の問題発見-問題解決の能力をバランスよく育成することにつながる。

図4は2009年のプロジェクトデザインⅠの中で学生から提出されたプロトタイプで、段ボールで製作したゴミばさみである。プロジェクトデザインⅠではアイデアを図で示す程度でよいが、このチームはアイデアの妥当性を明らかにするためにこのゴミばさみを試作している。プロジェクトデザインⅠとしては十分すぎる成果物である。学生がプロトタイプづくりを通してユーザーの立場からアイデアを再考することは、問題解決に偏重しすぎる傾向にあるプロジェクト活動を早期に修正し、バランスの取れた問題発見-問題解決の学習につながることを、この事例は示唆している。

図4 掃除が楽になるゴミばさみ (2009年前学期)

4. 教育実践例とその評価

筆者のこれまでのプロジェクトデザインⅡの教育実践の中で、学生チームの到達度によってはプロジェクト活動をCDIOの“CD”の部分から“CDI”，さらに“CDIO”の部分まで発展させた事例について述べる。

4.1 教育実践

事例1：環境教育プログラムの作成と授業実践

図5は2007年度の工学設計Ⅱ（現プロジェクトデザインⅡ）において学生チームが小学生を対象とした環境教育プログラムを開発し、近隣の小学校（金沢市立額小学校）で教育実践したときの様子である。このチームはアイデアの具体化ステージにおいて、小学校と交渉して研究授業を実現させている。訪問先の小学4

a：4年生の各クラスで地球環境について授業

b：地球環境を題材にした校内放送に出演

図5 環境教育プログラムを開発し、小学校で実践
(金沢市立額小学校, 2008年1月25日)

年生全クラス（3クラス）を対象に1クラスずつ授業を行い、さらに給食時間における校内放送に出演したり、校内ポスターを提示したりしてチームが提案する環境教育プログラムを実施した。この学生らは授業計画を立て、小学校との交渉を終え、実際に授業を展開しているのでCDIOの“CDIO”の部分まで実現している。この教育プログラムを他校においても実践し改善していくことができれば、より完成形に近い教育プログラムに仕上げることができる。

事例2：コミュニティーバス運行支援システムの開発とインターンシップ

図6は2008年の工学設計Ⅱ（現プロジェクトデザインⅡ）の学生チームが野々市町内（現野々市市内）を運行するコミュニティーバスの時刻表システムを開発した事例である。工学設計Ⅱでは2003年より野々市町から課題の提供を受けている¹⁶⁾。2008年よりさらにこの取り組みを発展させ、提供されたテーマに取り組んだチームは学期末、役場庁舎にて成果報告会を実施している¹⁷⁾。ただし、発表時間と会場の制約のため、発表チーム数は該当チーム数の60%、約20チームに限定している。図中の学生は、その報告会で職員の興味を

図6 インターンシップ成果報告会において開発システムを説明する本学の学生
(野々市町役場庁舎, 2009年9月18日)

引く発表を行い、翌年度の夏期休暇期間中に役場で実施されたインターンシップ研修に参加することができた。インターンシップ研修を利用し、役場業務を体験しながら自らが提案したシステムを実利用可能なものにまで発展させた。図はインターンシップ最終日に役場庁舎内で実施された成果報告会の様子である。この学生はコミュニティーバス運行支援システムを町民へのサービスとして運営させるところまで実施できたので、CDIOの“CDI”の部分、さらにCDIOのすべてまでを実現している。この学生が3年次に進級し、専門科目の学習で得た知識もこのシステム開発に寄与していることも留意すべきである。

事例3：手作り絵本による読み聞かせ支援

CDIOのすべての過程を満足させる教育実践を行うためには、学外の方々にプロジェクトの成果物を評価してもらうシステムの構築が必要である。完成形に近い「もの、こと」を作り上げたらそれを実行する場の確保が重要となる。図7は2010年度のプロジェクトデザインⅡで、自作の絵本を園児たちに読み聞かせるプロジェクト活動である。アイデアの具体化のステージにおいて自らが制作した絵本の有効性を検証するため、野々市町立押野保育園を訪問し、園児を対象に本の読み聞かせを実施した事例である。

プロジェクトの概略は以下の通りである。まず、学生らは問題の発見ステージにおいて、OECD生徒の学習到達度調査（PISA2006およびPISA2009）から子供の読書活動の推進の必要性を知り¹⁸⁾、プロジェクトテーマとして“子供の読解力を向上させる”ことを選定した。問題の明確化ステージでは野々市町立図書館を訪問し、野々市町が実施している野々市町子ども読書活動推進計画の下で子供がどのような図書と向き合っているかを調査した。次に自作の絵本にはどのようなストーリーや機能があるべきかについてアイデアを出し合い、アイデアの具体化ステージで読み聞かせに使

図7 絵本を製作し、保育園で実践
(野々市町立押野保育園, 2011年1月22日)

用する絵本を試作した。試作した絵本の有効性を検証するために保育園の協力を得て、実際に園児に対して読み聞かせを実施した。読み聞かせを終えた後、関係者から感想を聞いた。園児らの反応はよかったが、保育士の方々からは「園児は目新しいのでよく見ていたが、話に起承転結を取り入れるべき」など、厳しい評価を受けた。この保育園での活動は学生らにとってアイデアの外部評価の場であり、厳しい評価は次のプロジェクト活動につながる。プロジェクトデザインⅡの中で絵本を製作しただけではCDIOの“CD”の部分(本学プロジェクトデザインⅡの標準レベル)に留まるが、保育園を訪問し試作した絵本を第3者から評価してもらうことで、完成形に近い「もの、こと」を作り上げることができている。また、専門家(保育士)から評価を得るといった学外評価システムも機能している。このような評価システムがあれば、学生のプロジェクト活動はCDIOの“CD”の部分から“CDI”の部分まで発展させることができる。さらに、本を読み聞かせる場を運営しているので、学生らは“CDIO”まで実現している。さらに、絵本と読み聞かせの場の運営を他の保育園で実施し改善していくことができれば、より完成形に近い絵本の読み聞かせの場の構築につながる。

4.2 工学設計過程の評価

学生のプロジェクト活動をCDIOの“CD”の部分から“CDI”、さらに“CDIO”の部分まで発展させるには、学生の行動力に加え、教員に対して教室全体に対する運営力や各チームが遂行するプロジェクトに対する指導力が求められる。さらに学生が取り組むテーマに対して協力的なユーザーの存在が必要であり、教員にはそのユーザーと学生プロジェクトをつなげていく企画・行動力が必要となる。上述の3つの事例はユーザーに対するニーズを的確に捉えていたからこそ、プロジェクトをCDIOの“CDI”さらに“CDIO”まで発展できた。どのチームもより良い解決策を提示していくためにプロトタイプづくりを通してアイデアを再考

表1 事例で挙げたプロジェクトの評価

		学生プロジェクトの評価指標		事例1	事例2	事例3
C	考え出せる	1	問題の発見	○	○	○
		2	問題の明確化(ニーズ調査)	○	○	○
		3	設計仕様の作成	○	○	○
D	設計できる	4	アイデアの創出, 評価, 選定	○	○	○
		5	アイデアの具体化	○	○	○
		6	企画書・設計書の作成	○	○	○
I	実行できる	7	交渉, スケジュールの立案, 進捗管理	○	○	○
		8	アイデアの実装	○	○	○
		9	制作物の動作確認とその自己評価	○	○	○
O	運営できる	10	成果の発信	○	○	○
		11	制作物の外部評価	○	○	○
		12	制作物に対する改善案の提案と改善		○	

している点も共通している。

表1にCDIOアプローチを活用した工学設計過程の評価指標を定義し、上述の学生のプロジェクト活動を評価した。どの事例も外部評価を得ている点はよいが、15週というプロジェクト活動の期間では“運営できる(Operation)”を十分に達成することは難しく、事例2で示したようにインターンシップと連携させるなどの方策が必要である。

5. まとめ

本論文では筆者がこれまで担当してきた工学設計科目であるプロジェクトデザインⅠおよびプロジェクトデザインⅡの実践例を挙げて、本学の工学設計過程とCDIOとの関連を述べた。工学設計過程に従ってプロジェクトを進める両科目は、すでにCDIOの“CD”の部分までを満足していることを述べた。また、場合によっては“CDI”の部分まで、もしくはCDIOすべてまで実践できることも述べた。CDIOは工学教育カリキュラムの枠組みであるから、これを一つの科目で満足する必要はない。学生に提供する科目群が協調し合い、カリキュラム全体としてCDIO基準を満足すればよい。しかしながら基幹科目であるプロジェクトデザインⅠおよびプロジェクトデザインⅡをより充実した内容にすることは本学の工学教育の底上げになる。

本学の工学設計過程は前半のステージで問題発見の能力を、後半のステージで問題解決の能力を育成できるようになっている。しかしながら、ユーザーのニーズを十分に把握することなくプロジェクトを進めるとアイデア創出からアイデアの具体化の段階において戸惑うことがある。これを防ぐためにもアイデアの具体化ステージでプロトタイプを作りながら、提示しようとしている「もの、こと」がユーザーのニーズを満足

しているかを再考することは、バランスの取れた問題発見－問題解決型の教育につながる。また、解決策の検証を学外で実施すれば、それが第3者からの評価となる。そこでの意見を取り入れることで、より完成形に近い「もの、こと」を作り上げることができる。これにより工学設計過程に従って学生が推進するプロジェクトをCDIOの“CDI”または“CDIO”へと発展させることができる。そのためにはこれまで以上に地域との連携を密にしていくことが重要である^{19), 20)}。

21世紀のものづくりでは、ものづくりにデザイン思考の方法論を適用し、「もの、こと」が使用者にとって新たな付加価値を生み出すことが必要となってきた²¹⁾。また、持続可能な社会を構築するためのもづくりが自然環境にも調和しなければならない²²⁾。そのためには学生が知識を応用して新しい価値を生み出すための能力を育成するには、工学設計過程の各ステージにおいて解決策が人とどのように関わるかを、常に学生らに意識させてプロジェクトを進めさせることが必要である。それにより、学生の問題発見能力および問題解決能力の育成をバランスよく実施することができる。

謝 辞

本論文をまとめるにあたって助言をいただいた金沢工業高等専門学校・山田弘文校長に深く感謝いたします。また、本論文におけるイラスト作成および筆者(竹俣)のコミュニケーション・ドローイングスキルの向上に対して本学基礎教育部・中村純生准教授にご指導いただき、ここに感謝いたします。2001年4月から2010年3月までの間、筆者と共にプロジェクトデザインIおよびプロジェクトデザインIIを担当された古川哲郎氏に数多くの助言をいただきました。ここに深く感謝いたします。最後に、筆者の教育実践に対して助言をくださる本学基礎教育部・松本重男教授、山川武人教授、磯崎俊明教授に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) Crawley, E.F., Malmqvist, J., Ostlund, S., Brodeur, D.R.: Rethinking Engineering Education, The Cdio approach, Springer-Verlag, 2007
- 2) Worldwide CDIO Initiative: CDIO Collaborators, <http://www.cdio.org/cdio-collaborators>, 参照日: 2012-3-7
- 3) 松本重雄, 前川晴義, 久保猛志, 松石正克: 金沢工業大学の工学設計I・IIについて, 設計工学, 36-8, pp.25-31, 2001
- 4) 松本重男, 松石正克, 竹俣一也, 古川哲郎, 久保猛志: 学生がチームで設計プロセスに取り組む科目の教育成果, 工学教育, 50-3, pp.76-82, 2002
- 5) 上杉賢士: PBL情報化社会の新たな学習法, 教育学術新聞, no.2362, 2009
- 6) 竹俣一也, 松石正克, 山本敏幸, 古川哲郎, 松本重男: 工学設計科目におけるe-Learningシステム活用の試み, 工学教育, 52-5, pp.42-46, 2004
- 7) 松石正克, 竹俣一也, 古川哲郎, Sanders, W., Loo, C. N.: 日本, 米国およびシンガポールの高等教育機関における工学設計教育の国際交流, 工学教育, 54-4, pp.11-15, 2006
- 8) 古川哲郎, 松石正克, 松本重男, 竹俣一也, 山川武人: チーム活動能力の育成と評価, 工学教育, 55-4, pp.75-80, 2007
- 9) 山川武人, 松石正克, 松本重男, 竹俣一也, 古川哲郎: 1・2年次における工学設計科目－授業改善活動と教育効果－, 工学教育研究, 13, pp.69-82, 2007
- 10) 山川武人, 松石正克, 松本重男, 竹俣一也, 古川哲郎: 工学設計科目における1・2年次生の技術者倫理教育, 工学教育研究, 14, pp.81-95, 2008
- 11) Furukawa, T., Matusishi, M., Matumoto, S., Takemata, K., Yamakawa, T., Rynearson, L.: Ways of using and characteristics of two team contribution peer-evaluation methods, INNOVATION 2010: World Innovations in Engineering Education and Research, pp.21-31, 2010
- 12) 山川武人, 松石正克, 松本重男, 竹俣一也, 磯崎俊明: 社会人基礎力育成・評価プログラムへの取り組みと成果, 平成22年度 工学・工業教育研究講演会講演論文集, pp.546-547, 2010
- 13) Pee, S. H., Leong, H.: Implementing project based learning using CDIO concepts, 1st Annual CDIO Conference, 2005, http://02e6f35.netsolvps.com/files/document/file/CDIO_paper12.pdf, 参照日: 2011-4-27
- 14) 中村純生: アイデア・ドローイング 第2版－コミュニケーションツールとして－, 共立出版, 2009
- 15) Department of Educational Development, Singapore Polytechnic: Design Thinking, <http://spdesignthinking.sg/sitemap.html>, 参照日: 2011-4-27
- 16) 竹俣一也, 松石正克, 松本重男, 古川哲郎, 山川武人: 地域社会と連携した創造性工学教育, 工学教育, 54-2, pp.81-86, 2006
- 17) 竹俣一也, 松石正克, 松本重男, 古川哲郎, 山川武人: 工学設計教育科目における地域との連携事例(4), 平成21年度 工学・工業教育研究講演会講演論文集, pp.84-85, 2009
- 18) 国立教育政策研究所: OECD生徒の学習到達度調査(PISA), <http://www.nier.go.jp/kokusai/pisa/index.html>, 参照日: 2011-4-27
- 19) Takemata, K., Minamide, A., Furukawa, T., :

Local support for lifelong learning with science experiment courses(2), Proceedings of the International Conference on Engineering Education (ICEE2009), 2009

- 20) Takemata, K., Nakamura, S., Minamide, A., : Design of a lifelong learning program with regional collaboration, Internship for high school students, INNOVATION 2011 : World Innovations in Engineering Education and Research, pp.3-11, 2011
- 21) Brown, T. : Change by Design, How Design Thinking Transforms Organizations and Inspires Innovation, HarperBusiness, 2009.
- 22) 日本学術会議機械工学委員会生産科学分科会 : 21

世紀ものづくり科学のあり方について 2008年9月18日, [http : //www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-20-h64-2.pdf](http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-20-h64-2.pdf), 参照日 : 2011-4-27

.....

著 者 紹 介

竹俣 一也

1998年, 金沢工業大学大学院博士課程修了, 博士(工学)。現在, 金沢工業大学基礎教育部准教授および感動デザイン工学研究所研究員。衛星リモートセンシングデータの解析に関する研究, 感動創出コンテンツ開発に関する研究に従事。日本写真測量学会, 日本リモートセンシング学会, IEEE会員